



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y  
REUTILIZACION DEL AGUA RESIDUAL DEL PROCESO  
DE HEMODIALISIS DE LA CLINICA DE LOS RIÑONES  
MENYDIAL-RIOBAMBA”**

Antonio Israel Latorre Segovia.

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del título de:**

**Ingeniero Químico**

**Riobamba – Ecuador**

**2012**

### ***AGRADECIMIENTO***

Primeramente agradecerle a Dios por brindarme la vida y haberme permitido cumplir un sueño más en mi vida, a mi familia especialmente a mis padres y hermanos por todo el apoyo, la paciencia y la dedicación puesta en mí, a los amigos que estuvieron a mi lado con los que pude compartir inolvidables experiencias de tristezas y alegrías.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias y a la Escuela de Ingeniería Química por los conocimientos brindados en todos estos años de estudio brindándome la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona capaz de brindar todos sus conocimientos en beneficio de la sociedad

Al Ing. Cesar Avalos como Director de Tesis por haber depositado en mí su confianza y amistad, de igual manera a la Dra. Olga Lucero como Asesora, por compartir con interés sus conocimientos y a los dos de manera especial por su calidad humana y pedagógica.

De la misma manera a todas las personas que de una u otra forma han colaborado con mi desarrollo profesional y el de esta tesis.

**Antonio Israel Latorre Segovia.**

## *DEDICATORIA*

El transcurso del tiempo siguió con alegrías, tristezas, logros y fracasos. Manteniendo siempre la visión fija en una sola meta la culminación de mi carrera, venciendo todos los obstáculos presentes en el camino aunque en momentos intente abandonar la lucha pero comprendí y aprendí que la perseverancia es la que vence. Por todo aquello dedico a mi familia por el apoyo incondicional a pesar de todas las decepciones causadas llenándome de amor y tranquilidad.

A mis padres: Roció y Julio por ser los principales actores y arquitectos de mi vida. Pilares fundamentales de mi formación y futuro.

A mis hermanos: Julio, Verónica, Susana y Noé quienes me han brindado su afecto y palabras de aliento en momentos difíciles.

A los profesores y amigos que forman parte de mi vida, ya que con sus consejos y ayuda aportaron con su granito de arena para hoy poder culminar una etapa más de mi vida.

**Antonio Israel Latorre Segovia**

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Silvio Álvarez Luna	-----	-----
<b>DECANO FACULTAD DE CIENCIAS</b>		
Ing. Mario Villacres.	-----	-----
<b>DIRECTOR DE ESCUELA DE ING. QUIMICA</b>		
Ing. César Avalos.	-----	-----
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>		
Dra. Olga Lucero.	-----	-----
<b>MIEMBRO TRIBUNAL DE TESIS</b>		
Ing. Fernanda Rivera.	-----	-----
<b>MIEMBRO TRIBUNAL DE TESIS</b>		
Tlgo. Carlos Rodríguez	-----	-----
<b>DIRECTOR DEL CENTRO DE</b>		
<b>DOCUMENTACION</b>		
<b>NOTA DE TESIS ESCRITA -----</b>		

Yo, **Antonio Israel Latorre Segovia**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## **INDICE DE ABREVIATURAS:**

CVC	Catéter Venoso Central.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
COT	Carbono Orgánico Total.
SST	Sólidos Suspendidos Totales.
FM	Factor de Mayorización.
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana.
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización.
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario.
C	Grados Centígrados.
pHPotencial Hidrogeno.	
mm	Milímetros
cm	Centímetros.
h	Hora.
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado.
m <sup>3</sup>	Metro cúbico.
S	Segundo.
W	Watts.
Lb	Libra.
ft	Pies.
ml	Mililitros.
Min	Minutos.
Qp	Caudal por paciente.

Tr Tiempo de retención.

QeCaudal de ingreso al dializador.

#p Número de Pacientes.

Qt Caudal total.

P Peso.

V Volumen.

ddía

## Contenido

ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XIII
INDICE DE ANEXOS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
SUMMARY .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
ANTECEDENTES.....	XXI
JUSTIFICACIÓN .....	XXIII
OBJETIVOS: .....	XXIV
GENERAL .....	XXIV
ESPECÍFICOS .....	XXIV
CAPITULO I.....	- 1 -
1.-MARCO TEORICO .....	- 1 -
1.1.-LA HEMODIÁLISIS.....	- 1 -
1.1.1.-FUNCIONAMIENTO DE LA HEMODIÁLISIS .....	- 4 -
1.1.2.-ACCESO.....	- 4 -
1.1.3.-CATÉTER .....	- 5 -
1.1.4.-EQUIPO DE DIÁLISIS.....	- 5 -
1.1.5.- SISTEMA DE AGUA .....	- 6 -
1.2.- EL AGUA .....	- 7 -
1.2.1.- ESTADO NATURAL.....	- 8 -
1.2.2.-EL AGUA EN LA VIDA .....	- 9 -
1.2.3.- AGUA POTABLE.....	- 9 -
1.2.4.- TIPOS DE AGUA .....	- 9 -
1.2.5.- PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL AGUA .....	- 10 -
1.2.6.- CALIDAD DEL AGUA .....	- 11 -
1.2.7.- CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	- 14 -
1.2.8.- AGUA RESIDUAL .....	- 17 -
1.2.9.- CARACTERISTICAS FÍSICO, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL .....	- 19 -



1.2.10.- TIPOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.....	- 26 -
1.2.10.5.- DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL .....	- 44 -
1.2.11.- LA AUTODEPURACIÓN. ....	- 57 -
1.2.12.-LAGUNAS (ESTANQUES) DE ESTABILIZACIÓN U OXIDACIÓN.....	- 59 -
1.2.13.-PARTES CONSTITUTIVAS DE LAS LAGUNAS .....	- 65 -
1.2.14.- MANEJO Y ADICIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS.....	- 68 -
1.2.15.- REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL.....	- 75 -
1.2.16.- NORMATIVA .....	- 76 -
CAPITULO II .....	- 77 -
2.- PARTE EXPERIMENTAL .....	- 77 -
2.1.- LOCALIZACIÓN.....	- 77 -
2.2.- TIPO DE MUESTREO.....	- 77 -
2.3.- FRECUENCIA Y NUMERO DE MUESTRAS.....	- 77 -
2.4.-CARACTERIZACION FÍSICO- QUÍMICA DEL AGUA.....	- 78 -
2.5.- MEDICIÓN DEL CAUDAL .....	- 79 -
2.6.-MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	- 82 -
2.6.1.-MÉTODOS .....	- 82 -
2.6.2.-TÉCNICAS.....	- 84 -
2.7.- MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	- 85 -
2.7.1.- MÉTODOS DE DETERMINACIÓN.....	- 85 -
2.7.1.1.- MÉTODO 5210-B: DETERMINACIÓN DE DBO .....	- 85 -
2.7.1.2.- MÉTODO 5220-C: DETERMINACIÓN DE DQO .....	- 85 -
2.7.1.3.- MÉTODO 4500-B: DETERMINACIÓN DE Ph .....	- 86 -
2.7.1.4.- DETERMINACIÓN DE LA TURBIDEZ.....	- 86 -
2.7.1.5.- MÉTODO 2540-B: DETERMIANCIÓN DE SOLIDOS TOTALES .....	- 86 -
2.8.- DATOS EXPERIMENTALES DE LOS ANÁLISIS.....	- 87 -
2.8.1.-ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA POTABLE DE LA CISTERNA DE DISTRIBUCIÓN DE LA CLÍNICA MENYDIAL-RIOBAMBA.....	- 87 -
2.8.2.- ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICO DEL AGUA TRATADA POR OSMOSIS INVERSA UTILIZADA EN EL PROCESO DE HEMODIALISIS. ....	- 88 -

2.8.3.-ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE HEMODIÁLISIS DE LA CLÍNICA DE LOS RIÑONES MENYDIAL-RIOBAMBA. ....	- 89 -
2.8.4.- ANÁLISIS DE DBO Y DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE HEMODIÁLISIS DE LA CLÍNICA DE LOS RIÑONES MENYDIAL-RIOBAMBA. ....	- 90 -
CAPITULO III.....	- 95 -
3.- LINEA DE INVESTIGACIÓN .....	- 95 -
3.1.- CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE HEMODIÁLISIS.....	- 95 -
3.1.1.- CALCULO DEL SISTEMA.....	- 95 -
3.2.-DOSIFICACIÓN IDEAL DE POLICLORURO DE ALUMINIO AL 25%(P/V) .....	- 110 -
3.2.1.- BALANCE DE MATERIA DEL SEDIMENTADOR.....	- 118 -
3.3.- RESULTADOS. ....	- 121 -
3.3.1.- CAUDAL.....	- 121 -
3.3.2.-HOMOGENIZADOR.....	- 121 -
3.3.3.-SEDIMENTADOR.....	- 122 -
3.3.4.- FILTRO. ....	- 123 -
3.3.5.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO PARA REUTILIZACIÓN .....	- 123 -
3.3.6.- DOSIFICACIÓN IDEAL DEL POLICLORURO DE ALUMINIO AL 25% (P/V). -	- 124 -
3.4.-PROPUESTA .....	- 124 -
3.4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	- 127 -
3.5.- DISCUSIÓN. ....	- 128 -
CAPITULO IV.....	- 130 -
4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	- 130 -
4.1.- CONCLUSIONES:.....	- 130 -
4.2.-RECOMENDACIONES:.....	- 132 -
BIBLIOGRAFÍA .....	- 133 -
REVISIÓN DE INTERNET .....	- 135 -
ANEXOS.- .....	- 136 -

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Calidad microbiológica del agua.....	- 11 -
Tabla 2.- Factores de corrección para el cálculo del caudal .....	- 46 -
Tabla 3.- Información típica para el diseño de sedimentación primaria.....	- 49 -
Tabla 4.- Valores de las constantes empíricas a y b. ....	- 54 -
Tabla 5.- Caudales y días laborables de la clínica de los riñones Menydial, Riobamba .	- 81 -
Tabla 6.- Parámetros de análisis .....	- 84 -
Tabla 7.- Análisis de resultados del agua potable de distribución.....	- 87 -
Tabla 8.- Análisis de resultados del agua tratada por osmosis inversa.....	- 88 -
Tabla 9.- Análisis de resultados del agua residual del proceso .....	- 89 -
Tabla 10.- Análisis de resultados del agua residual del proceso .....	- 90 -
Tabla 11.- Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria.....	- 90 -
Tabla 12.- Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares primarios ..	- 91 -
Tabla 13.- Valores usuales de gradiente de velocidad (G) y tiempos de retención de los procesos de tratamiento de agua residual. ....	- 92 -
Tabla 14.- Coeficiente de rugosidad $\eta$ de Manning.....	- 93 -
Tabla 15.- Valores de las constantes empíricas a y b .....	- 94 -
Tabla 16.- Línea de investigación.....	- 95 -
Tabla 17.- Caudales del proceso sumado el Factor de Mayorización .....	- 98 -
Tabla 18.- Diferentes dosificaciones del policloruro de aluminio al 25% (P/V). Prueba 1....	- 110 -

Tabla 19.- Diferentes dosificaciones del policloruro de aluminio al 25% (P/V). Prueba 2....	-
112 -	
Tabla 20.- Evaluación del tratamiento con policloruro de aluminio al 25% (P/V) .....	- 114 -
Tabla 21.- Diferentes tiempos de residencia.....	- 114 -
Tabla 22.- Evaluación de las dosificaciones del policloruro de aluminio al 25% (P/V).	
Prueba 3 .....	- 116 -
Tabla 23.- Datos obtenidos experimentalmente y aplicados al diseño .....	- 120 -
Tabla 24.- Caudales del proceso sumado el Factor de Mayorización .....	- 121 -
Tabla 25.- Resultados obtenidos para el diseño del tanque homogenizador .....	- 121 -
Tabla 26.- Resultados obtenidos para el diseño del tanque sedimentador.....	- 122 -
Tabla 27.- Resultados obtenidos para el diseño del filtro.....	- 123 -
Tabla 28.- Resultados obtenidos para el diseño del tanque de almacenamiento. ....	- 123 -
Tabla 29.- Evaluación del tratamiento con policloruro de aluminio al 25% (P/V) .....	- 124 -
Tabla 30.- Análisis de resultados .....	- 127 -

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.- Proceso de hemodiálisis .....	- 6 -
Gráfico 2.- Estructuras del agua.....	- 7 -
Gráfico 3.- Sedimentador.....	- 32 -
Gráfico 4.- Floculador.....	- 36 -
Gráfico 5.- Filtro .....	- 43 -
Gráfico 6.- Remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria .....	- 55 -
Gráfico 7.- Laguna de Oxidación .....	- 61 -
Gráfico 8.- Forma Molecular del peróxido de hidrogeno .....	- 69 -
Gráfico 9.- Caudales y días laborables de la clínica Menydial.....	- 82 -
Gráfico 10.- Caudales y días laborables de la clínica Menydial más FM .....	- 99 -
Gráfico 11.- Dosis óptima de policloruro de aluminio (prueba 1).....	- 111 -
Gráfico 12.- Dosis óptima de policloruro de aluminio (prueba 2).....	- 113 -
Gráfico 13.- Tiempos de residencia.....	- 115 -
Gráfico 14.- Dosis óptima de policloruro de aluminio (prueba 3).....	- 117 -

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.- Floculante GLOCHEM GL-240 .....	- 137 -
Anexo 2.- Ficha técnica del Peresal.....	- 138 -
Anexo 3.- Análisis Fisicoquímico del Agua antes de ingresar al proceso.....	- 139 -
Anexo 4.- Análisis Fisicoquímico del Agua Residual del Proceso .....	- 140 -
Anexo 5.- Diagrama de Flujo del sistema de tratamiento.....	- 141 -
Anexo 6.- Diseño de la planta de tratamiento.....	- 142 -
Anexo 7.- Policloruro de Aluminio .....	- 143 -
Anexo 8.- Búsqueda de la concentración ideal de policloruro de aluminio prueba 1 ...	- 144 -
Anexo 9.- Búsqueda de la concentración ideal de policloruro de aluminio prueba 2 ...	- 145 -
Anexo 10.- Búsqueda de la concentración ideal de policloruro de aluminio prueba 2 .	- 146 -
Anexo 11.- Concentración ideal de policloruro de aluminio.....	- 147 -
Anexo 12.- Concentraciones menores a 4ml prueba 3 .....	- 148 -
Anexo 13.- Equipos utilizados.....	- 149 -
Anexo 14.- NORMA INEN .....	- 150 -

## RESUMEN

Se realizó un diseño de una planta de tratamiento de agua residual para la clínica de los riñones Menydia – Riobamba, ubicada en la Panamericana Norte Km 2, para el agua proveniente del proceso de hemodiálisis, tratamiento realizado a los pacientes con deficiencia renal.

Se utilizó el método experimental para establecer el correcto diseño con la finalidad de realizar caracterizaciones físico-químicas del agua residual para comparar los resultados obtenidos con la Norma INEN 1 108:2010 Agua potable Requisitos, la cual implicó variaciones de dureza, conductividad, turbiedad, sólidos totales, sólidos disueltos y principalmente su carga orgánica con la medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno. Así también como la selección del floculante y tiempo de retención, se realizaron las pruebas a nivel de cinco lotes pilotos en los cuales se controló el tiempo de sedimentación, tiempo de retención, pH y turbidez, posteriormente se escogió la formulación que presenta las mejores características físico-químicas, realizadas con la medición del pH con el potenciómetro y la turbidez con el turbidímetro.

Se realizó una prueba de optimización del tiempo de residencia de 60 minutos obteniendo un tiempo de residencia de 48 minutos con un pH de 6.75, una turbidez de 0.49 NTU, una dosis ideal de policloruro de Aluminio al 25% de 4mg/l y una remoción de la carga orgánica de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno superior al 99% mg/l. Se obtuvo una planta de tratamiento de agua residual con una

eficiencia global del 97.2 % con la adición de policloruro de Aluminio al 25% como floculante.

Concluimos que la planta de tratamiento de aguas residuales esta conformada por un homogenizador, un sedimentador, tres filtros encapsulados y un tanque de almacenamiento y que todo el sistema funciona por gravedad.

Por lo que se recomienda la implementación del sistema para reducir la cantidad de consumo de la misma reutilizando el agua tratada en jardines, baños; Reduciendo el impacto ambiental y económico del proceso realizado por la Clínica de los Riñones Menydial –Riobamba.



## SUMMARY

A desing of a residual wáter treatment plant for the kidney clinic Menydial-Riobamba located in the Panamericana Norte Km 2 for the water from the hemodialysis process, a treatment carried out on patients with renal deficiency was performed.

The experimental method to establish the correct desing was used to carry out physical and chemical characterizations of the residual water to compare the results obtained with the Norm INEN 1 108: 2010 Potable Water Requirements, which involved hardness variations, conductivity, turbidity, total solids, solved solids and mainly its organic load with the measurement of the Oxygen Biochemical Demand and the Oxygen Chemical Demand. At the same time the flocculent selection and retention time as well as the tests at the level of five pilot plots were carried out in which the sedimentation time, retention time, pH and turbidity were controlled. Later, the formulation presenting the best physical and chemical characteristics carried out with the pH measurement with the potentiometer and turbidity with the turbid meter was chosen.

An optimization test of the residence time of 60 minutes was conducted resulting in a residence time of 48 minutes with 6.75 pH, 0.49 NTU turbidity, an ideal polychloride dose of aluminum at 25% of 4 mg/l and an organic load removal of the Oxygen Biochemical Demand and the Oxygen Chemical Demand higher than 99% mg/l. It was possible to obtain a residual water treatment plant with 97.2% global efficiency with the addition of polychloride of aluminum at 25% as a flocculent.

It is concluded that the residual water treatment plant is formed by a homogenizer, a sedimentary, three cased filters and storage tank the system functioning by means of gravity.

It is recommended to implement the system to reduce its consumption quantity by reusing the treated water in gardens and bathrooms, reducing the environmental and economic impact of the process carried out by the Kidney Clinic Menydial-Riobamba

## INTRODUCCIÓN

La clínica de los riñones “MENYDIAL” se encuentra ubicada en la ciudad de Riobamba en la Panamericana norte Km 2, empezó sus operaciones en el proceso de hemodiálisis en el año 2001 con un total de 24 trabajadores que se encuentran estructurados de la siguiente manera 1 gerente , 1 administrador , 7 enfermeras , 4 técnicos de hemodiálisis , 1 técnico de mantenimiento , 3 personas de limpieza , 1 encargado de farmacia y bodeguero , 1 médico general, 2 nefrólogos , 1 psicólogo , 1 trabajadora social y 1 nutricionista. Brinda atención a 45 pacientes diariamente. Actualmente mantiene un convenio con el IESS prestando sus servicios médicos en el proceso de hemodiálisis, que es un método para quitar los residuos tóxicos de la sangre, así como el agua libre, cuando los riñones no tienen un funcionamiento normal denominado deficiencia renal.

Los pacientes son expuestos a  $0.12 \text{ m}^3$  de agua durante cada sesión de hemodiálisis que tiene un tiempo de duración promedio de 4 horas. Todas las sustancias de bajo peso molecular presentes en el agua tienen un acceso directo a su torrente sanguíneo (como si fuesen administradas por vía intravenosa). Por esta razón es importante que la pureza del agua utilizada sea conocida y controlada. Además, los cultivos de bacterias deben mantenerse por debajo de 200 UFC/ml.

La clínica cuenta con un proceso de osmosis inversa para tratar el agua , la cual es administrada durante el tratamiento de diálisis.

Actualmente se encuentra trabajando con 4 turnos diarios, 4 máquinas de diálisis en óptimo funcionamiento de marca Nipro modelo Surdyal ( procedencia japonesa) , 2 máquinas marca Jihua modelo 2028( procedencia china), 7 máquinas Fresenius 2008H( procedencia USA) y 3 máquinas Fresenius 2008E ( procedencia USA); con un total de 16 máquinas que consumen 5.4 m<sup>3</sup> de agua diariamente , arrojando una planilla mensual de consumo de 129.6 m<sup>3</sup>, con una inversión de 700 dólares americanos.

Esta agua contiene materia orgánica cuya, descomposición genera gases mal olientes al ser descargadas a la red de alcantarillado municipal, cabe añadir la frecuente presencia de microorganismos patógenos causantes de enfermedades, además suelen contener nutrientes que estimulan el crecimiento de plantas acuáticas y compuestos tóxicos cuya contaminación no solo disminuye el oxígeno sino también provoca la eutrofización, o sea, el enriquecimiento de las aguas de nutrientes vegetales inorgánicos como el nitrógeno y el fosforo. Es por eso que el sistema de tratamiento de las aguas residuales es necesario, considerándose la descontaminación y evitando la pérdida total de esta cantidad de agua por medio de la reutilización con el mismo propósito, más que un objetivo es una necesidad en miras a obtener un medio ambiente sano, mejorar su capacidad económica y en el futuro adquirir la norma ISO 14001.

## ANTECEDENTES

En medicina, hemodiálisis es un método para quitar los residuos tóxicos de la sangre cuando los riñones dejan de funcionar , por ejemplo potasio y urea, así como el agua libre de la sangre en pacientes que tienen deficiencia renal. La hemodiálisis es una de las terapias renales del reemplazo.

ThomasGraham de Glasgow, fue el primero en presentar los principios del transporte del soluto a través de una membrana semipermeable en 1854.Sin embargo, el impacto de una cantidad o de un índice dado del retiro del fluido, puede variar grandemente de persona a persona.

La exigencia respecto a la calidad del agua ha ido a aumentando y el objetivo inicial de contar con "un sistema de tratamiento del agua" en la unidad de hemodiálisis, debe dejar paso a "la norma de calidad, a su cumplimiento y control". Al principio, se trataba de prevenir el síndrome de agua dura y las contaminaciones bacterianas.

Un extenso sistema de purificación del agua es absolutamente crítico para la hemodiálisis. Puesto que los pacientes de diálisis están expuestos a vastas cantidades de agua que se mezcla con el baño ácido para formar el dializado, incluso pueden filtrarse en la sangre trazas de minerales contaminantes o endotoxinas bacterianas. Debido a que los riñones dañados no pueden realizar su función prevista de quitar impurezas, los iones que se introducen en la corriente sanguínea por vía del agua pueden aumentar hasta niveles peligrosos, causando numerosos síntomas incluyendo la muerte. Por esta razón, el agua

usada en hemodiálisis es típicamente purificada usando ósmosis inversa. También es revisada para saber si hay ausencia de iones de cloro y cloraminas, y su conductividad es continuamente monitoreada, para detectar el nivel de iones en el agua.

De la investigación documental realizada no se ha encontrado trabajos este sobre este tema, siendo el primer anteproyecto en el país en reutilizar el agua vertida de este proceso médico.

## JUSTIFICACIÓN

A nivel nacional las estadísticas muestran que el 9% de la población ecuatoriana (aproximadamente 2922 pacientes por datos del IESS del 2008) reciben este tipo de tratamiento, generando un consumo masivo de  $350.64\text{m}^3$  de agua diariamente

Los pacientes que utilizan este tipo de tratamiento en la clínica de los Riñones son 45 lo que genera un consumo diario de  $5.4\text{ m}^3$  de agua, dando un consumo mensual del preciado líquido vital de  $129.6\text{ m}^3$ .

La necesidad de reducir el consumo tecnificando su debido tratamiento y reutilización obteniendo una agua de calidad y apta para este procedimiento médico que cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa del ministerio de salud vigente.(norma utilizada)

El objetivo será conseguir un sistema de tratamiento capaz de brindar un líquido de hemodiálisis ultra puro que contenga sólo agua y sus componentes necesarios, con un grado de pureza similar al exigido para las soluciones empleadas en infusión intravenosa.

Garantizando la disminución del impacto ambiental generado por la alta demanda de consumo de esta actividad y todos los componentes orgánicos e inorgánicos que esta posee después de su debida utilización y tomando en cuenta que el agua hoy en día está considerada un suministro no renovable.

## **OBJETIVOS:**

### **GENERAL**

- Diseñar un sistema de tratamiento y reutilización del agua residual en el proceso de hemodiálisis de la clínica de los Riñones Menydial-Riobamba.

### **ESPECÍFICOS**

- Caracterizar físico-química y microbiológicamente el agua residual obtenida del proceso.
- Establecer el tratamiento más adecuado.
- Evaluar el tipo de equipos necesarios que van a formar parte del sistema de tratamiento del agua.
- Caracterizar físico-química y microbiológicamente el agua después de su tratamiento.
- Dimensionar los diferentes equipos que forman parte del sistema de tratamiento y reutilización.



## **CAPITULO I**

### **1.-MARCO TEORICO**

#### **1.1.-LA HEMODIÁLISIS**

En medicina, la hemodiálisis es un procedimiento de sustitución renal extracorpóreo, dirigido a eliminar las impurezas o productos de desecho de la sangre que se utiliza en el tratamiento de la insuficiencia renal y de diversas intoxicaciones.

Consiste en extraer la sangre del organismo y pasarla a un dializador de doble compartimiento, uno por el cual pasa la sangre y otro el líquido de diálisis, separados por una membrana semipermeable. Método para eliminar de la sangre residuos como potasio y urea, así como agua en exceso cuando los riñones son incapaces de esto (es decir cuando hay un fallo renal).

“El riñón en su normal funcionamiento produce y elimina orina por medio de una compleja red de filtración y el sistema de reabsorción consta de más de dos millones de nefronas, cada una de las cuales se compone de glomérulos y túbulos renales que filtran la sangre bajo alta presión, extrayendo del plasma la urea, sales y otros materiales de desecho solubles, y devolviendo a la sangre el filtrado purificado. Más de 1200 lts de sangre pasan a través de los riñones cada día, entrando y saliendo por las arterias y venas renales respectivamente. Toda la sangre del organismo pasa a través de los riñones alrededor de 20 veces cada hora, pero casi solo un quinto del plasma es filtrado por las nefronas durante

este periodo de tiempo. Extraen de la sangre el agua que forma la orina y devuelven el agua filtrada al plasma, ayudando de este modo a mantener el equilibrio hídrico del organismo”<sup>1</sup>.

La hemodiálisis se hace normalmente en una instalación dedicada, un cuarto especial en un hospital o en una clínica con enfermeras y técnicos especializados en hemodiálisis. Aunque menos típico, la diálisis también se puede hacer en la casa de un paciente como hemodiálisis domiciliaria.

“Diálisis, proceso de separación de sustancias coloides y cristalinas en solución aprovechando la diferencia en su tasa de difusión a través de una membrana semipermeable. La técnica comprende difusión de partículas, osmosis de líquidos y fenómenos de ultra filtración a través de una membrana aprovechando gradientes de concentración y presión diferencial creados artificialmente”<sup>1</sup>.

### **Clasificación de la hemodiálisis.**

**Hemodiálisis:** El acceso puede obtenerse mediante un cortocircuito externo o una fistula arteriovenosa. El cortocircuito externo se prepara introduciendo dos cánulas a través de la piel en una vena y una arteria de gran calibre.

Cuando no se está realizando la diálisis, las cánulas se unen dejando que la sangre fluya libremente de la arteria a la vena, y cuando va a realizarse la diálisis, las cánulas se separan de forma que la sangre arterial pueda fluir en dirección al dializador y la sangre dializada regresar desde este a la circulación a través de la cánula insertada a la vena.

---

<sup>1</sup>MOSBY. O. “Diccionario Medico”5ta Edicion, Edi. Oceano. Barcelona-España, Pp 1149

La hemodiálisis precisa un establecimiento fijo, para poder acceder a la corriente sanguínea del paciente, un mecanismo de transporte de la sangre desde la circulación hacia la máquina y viceversa, y un dializador.

**Diálisis peritoneal:** Procedimiento realizado para corregir el desequilibrio electrolítico de la sangre o eliminar toxinas, fármacos u otros productos de desecho excretados por el riñón.

Se utiliza como membrana difusible el peritoneo. La diálisis peritoneal puede practicarse por la noche en los niños con enfermedades crónicas mientras duermen y también a intervalos regulares en casa.

Puede condicionar varias complicaciones como perforación intestinal, peritonitis, atelectasia, neumonía, edema pulmonar, hiperglucemia, hipovolemia, hitis, el problema más frecuente suele deberse a la utilización de una técnica no aséptica.

**Diálisis peritoneal ambulatoria continua:** Sistema de diálisis que puede ser efectuado en el propio domicilio por el enfermo o sus familiares y consiste en mantener la cavidad peritoneal permanentemente ocupada con el líquido de diálisis, con tres o cuatro intercambios distribuidos durante el día y un ciclo más prolongado en la noche.

**Diálisis peritoneal cíclica continua:** Técnica similar a la diálisis peritoneal continua ambulatoria, excepto porque los intercambios no son manuales sino realizados por un ciclador automático. Consta de varios ciclos nocturnos y termina con un ciclo final diurno más prolongado, en el que el paciente se desconecta de la máquina.

**Diálisis peritoneal intermitente:** Sistema de diálisis peritoneal que consiste en la realización de multiplex cambios automatizados de corta duración durante periodos de ocho a doce horas, habitualmente por la noche, con frecuencia variable de acuerdo a las necesidades metabólicas del paciente, por lo general de dos a cuatro veces por semana.

### **1.1.1.-FUNCIONAMIENTO DE LA HEMODIÁLISIS**

El proceso de hemodiálisis, la sangre del paciente se conduce entubada desde el organismo hasta una maquina llamada riñón artificial en la que pasa a través de un filtro de limpieza (dializador) , en el que se produce el intercambio entre el líquido del dializador y la sangre , recogiendo las sustancias toxicas de la sangre y aportando otras beneficiosas , y retorna de nuevo al cuerpo.

A semejanza de los riñones sanos, la diálisis permite:

- Eliminar las sustancias toxicas, la sal y el agua en exceso del organismo.
- Mantener el nivel adecuado de ciertas sustancias químicas en la sangre.
- Contribuye a controlar la presión sanguínea.

Para poder llevar la sangre al dializador, es necesario establecer un acceso vascular o entrada a los vasos sanguíneos, para lo cual es necesaria una intervención local de cirugía menor, generalmente en el antebrazo, por su mayor accesibilidad y facilidad de manipulación en la diálisis.

### **1.1.2.-ACCESO**

En hemodiálisis, tres métodos primarios se utilizan para acceder a la sangre: un catéter intravenoso, una fístula (sistema de pesos americano).

O un injerto sintético. El tipo de acceso es influenciado por factores tales como el curso previsto del tiempo de la falta renal de un paciente y la condición de su fistula. Los pacientes pueden tener accesos múltiples, generalmente porque una fistula o el injerto del sistema de pesos americano se están madurando y un catéter todavía se está utilizando.

### **1.1.3.-CATÉTER**

Acceso del catéter, llamado a veces un CVC (Catéter venoso central), consiste en un catéter plástico con dos lúmenes (o de vez en cuando dos catéteres separados) que se inserte en una vena grande (generalmente vena cava, vía vena yugular interna o vena femoral) para permitir que vuelven los flujos grandes de la sangre sean retirados a partir de un lumen, para incorporar el circuito de la diálisis, y vía el otro lumen. Sin embargo, el flujo de la sangre es casi siempre menos que el de una fistula o de un injerto fiable.

“catéter, tubo flexible hueco que puede introducirse en un vaso o en una cavidad del organismo para extraer o introducir líquidos”<sup>2</sup>.

### **1.1.4.-EQUIPO DE DIÁLISIS**

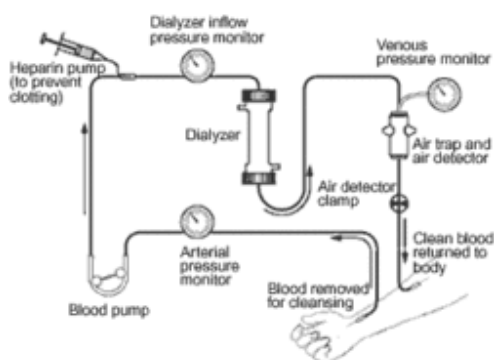
La máquina de la hemodiálisis bombea el dializado del paciente a la sangre y a través del dializador (gráfico 1). Las máquinas más nuevas de la diálisis en el mercado se automatizan altamente y supervisan continuamente un arsenal de parámetros seguridad-críticos, incluyendo sangre y índices de corriente del dializado; conductividad, temperatura, y pH de la solución de diálisis; y análisis del dializado para la evidencia de la salida de la sangre o la

---

<sup>2</sup>MOSBY. O. “Diccionario Medico”5ta Edicion, Edi. Oceano. Barcelona-España Ibíd. Catéter 231.

presencia del aire. Cualquier lectura que esté fuera de gama normal acciona una alarma audible para alertar al técnico del paciente-cuidado que está supervisando a paciente. Los fabricantes de las máquinas de la diálisis incluyen a compañías por ejemplo Fresenius, Gambro, Baxter, B. Braun, y Bellco.

**Gráfico 1.- Proceso de hemodiálisis**



Fuente: [fisterra .com /salud](http://fisterra.com/salud)

### **1.1.5.- SISTEMA DE AGUA**

Un extenso sistema de purificación del agua es absolutamente crítico para la hemodiálisis. Puesto que exponen a los pacientes de diálisis a las cantidades extensas de agua, que se mezcla con el concentrado de dializado para formar el dializado, incluso remonte los contaminantes minerales o bacterianos endotoxinas puede filtrarse en la sangre del paciente. Porque los riñones dañados no pueden realizar su función prevista de quitar impurezas, los iones introducidos en la circulación sanguínea vía al poder del agua aumentaron hasta los niveles peligrosos, causando síntomas numerosos o muerte. El

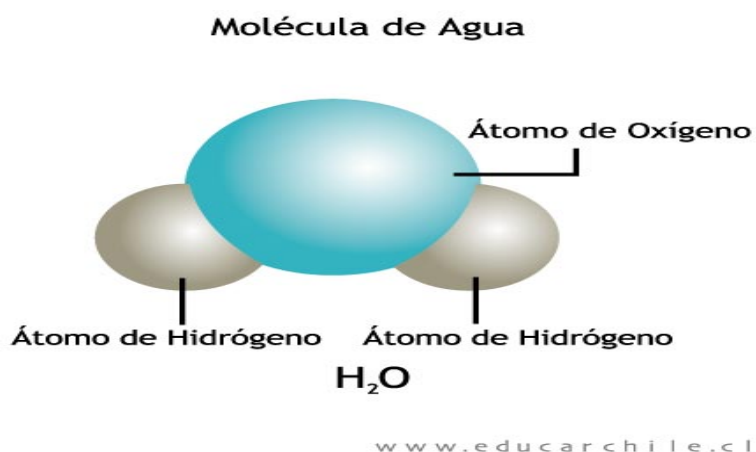
aluminio, el chloramine, el fluoruro, el cobre, y el cinc, así como fragmentos y endotoxinas bacterianos, tienen todos los problemas causados en este respecto.

Por esta razón, el agua usada en hemodiálisis se purifica cuidadosamente antes de usar. Una vez que el agua purificada se mezcla con el concentrado de dializado, su conductividad aumenta, puesto que el agua que contiene los iones cargados conduce electricidad. Durante diálisis, la conductividad de la solución de diálisis se supervisa continuamente para asegurarse de que el concentrado del agua y de dializado se está mezclando en las proporciones apropiadas. Ambas solución de diálisis excesivamente concentrada y solución excesivamente diluida pueden causar problemas clínicos severos.

## 1.2.- EL AGUA

Agua nombre común que se aplica al estado líquido del compuesto de hidrógeno y oxígeno  $H_2O$ . Como se representa en la gráfico 2.

**Gráfico 2.- Estructuras del agua**



Fuente: educarchile.cl

El agua es fuente de vida, toda la vida depende del agua. El agua constituye un 70% de nuestro peso corporal. Necesitamos agua para respirar, para lubricar los ojos, para desintoxicar nuestros cuerpos y mantener constante su temperatura. Por eso aunque un ser humano puede vivir por más de dos semanas sin comer, puede sobrevivir solamente tres o cuatro días sin tomar agua. Las plantas serían incapaces de producir su alimento y de crecer sin el agua.

Tiene cualidades especiales que le hacen muy importante, entre las que destacan el hecho de que sea un regulador de temperatura en los seres vivos y en toda la biosfera, por su alta capacidad calórica (su temperatura no cambia tan rápido como la de otros líquidos)

### **1.2.1.- ESTADO NATURAL**

El agua es la única sustancia que existe a temperaturas ordinarias en los tres estados de la materia, o sea, sólido, líquido y gas. Como sólido o hielo se encuentra en los glaciares y los casquetes polares, así como en las superficies de agua en invierno; también en forma de nieve, granizo y escarcha. Existe en estado líquido en las nubes de lluvia formadas por gotas de agua, y en forma de rocío en la vegetación. Además, cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre en forma de pantanos, lagos, ríos, mares y océanos. Como gas, o vapor de agua, existe en forma de niebla, vapor y nubes. El agua está presente también en la porción superior del suelo, en donde se adhiere, por acción capilar, a las partículas del mismo. En este estado, se le denomina agua ligada y tiene unas características diferentes del agua libre.



Por influencia de la gravedad, el agua se acumula en los intersticios de las rocas debajo de la superficie terrestre formando depósitos de agua subterránea que abastecen a pozos y manantiales, y mantienen el flujo de algunos arroyos durante los periodos de sequía.

### **1.2.2.-EL AGUA EN LA VIDA**

El agua es el componente principal de la materia viva. Constituye del 50 al 90% de la masa de los organismos vivos. El protoplasma, que es la materia básica de las células vivas, consiste en una disolución de grasas, carbohidratos, proteínas, sales y otros compuestos químicos similares en agua. El agua actúa como disolvente transportando, combinando y descomponiendo químicamente esas sustancias. La sangre de los animales y la savia de las plantas contienen una gran cantidad de agua, que sirve para transportar los alimentos y desechar el material de desperdicio.

### **1.2.3.- AGUA POTABLE**

Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

### **1.2.4.- TIPOS DE AGUA**

Según la cantidad y tipos de sales minerales presente, el agua puede ser:

- **Aguas Duras.-** Son aquellas que poseen importante presencia de compuestos de calcio y magnesio, poco solubles, principales responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.

- **Aguas Blandas.-** Su composición principal está dada por sales minerales de gran solubilidad.
- **Aguas neutras.-** Compone su formación una alta concentración de sulfatos y cloruros que no alteran sensiblemente el valor del pH.
- **Aguas alcalinas.-** Son aquellas que tienen importantes cantidades de carbonates y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio, las que proporcionan al agua reacción alcalina elevando el valor de pH.

### **1.2.5.- PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL AGUA**

#### **1.2.5.1.- PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA**

- Estado físico: sólida, líquida y gaseosa
- Color: incolora
- Sabor: insípida
- Olor: inodoro
- Densidad: Ig./c.c. a 4°C
- Punto de congelación: 0°C
- Punto de ebullición: 100°C
- Presión crítica: 217,5 atm.
- Temperatura crítica: 374°C

#### **1.2.5.2.- PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA**

- Reacciona con los óxidos ácidos

- Reacciona con los óxidos básicos
- Reacciona con los metales
- Reacciona con los no metales
- Se une en las sales formando hidratos

#### **1.2.6.- CALIDAD DEL AGUA**

La calidad del agua depende directamente del uso al cual se designe el agua; así en general se acepta que en general el agua proporcionada para uso doméstico debe ser clara, agradable al gusto, no corrosiva, exenta de organismos que produzcan infección intestinal, etc. Es decir el agua de consumo humano debe cumplir ciertos requerimientos para su distribución, los mismos que están estipulados en las normas correspondientes. Según la American Public Health Association Standard Methods for the examination of water and wastewaters, desde el punto de vista sanitario se tiene la clasificación que se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1.- Calidad microbiológica del agua**

<b>Calidad del agua</b>	<b>Numero de gérmenes ml</b>
Excesivamente pura	0 a 100
Muy pura	10 a 100
Pura	100 a 1000

Medianamente pura	1000 a 10000
Impura	10000 a 100000
Muy impura	Más de 100000

FUENTE: Ing. Marco Yepez. MIDUVI - QUITO

Para especificar la calidad del agua debe hacerse primero una evaluación sensorial, ya que el sabor, olor, color pueden ser indicios de contaminación.

En el caso del agua de consumo humano, la mayoría de las quejas de los consumidores se relaciona con su sabor, olor, color, lo que determina en gran medida la aceptabilidad de un tipo de agua en particular.

La calidad del agua varía de acuerdo al tipo y cantidad de sustancia presentes en la misma, así tenemos:

- **Cloruros.-** La concentración de iones cloruros es de 200 - 300 mg/L; cuando es superior proporciona sabor desagradable al agua, además corroe los metales en el sistema de distribución, especialmente el aguas de escasa alcalinidad y el tratamiento no elimina el cloruro existente en el agua.
- **Nitritos y nitratos.-** Los nitritos pueden descomponerse en presencia de bacterias talofíticas, convirtiéndose en  $\text{NO}_2$  que luego se oxida a  $\text{NO}_3$ . Se admite concentraciones en trazas, pero en la actualidad ningún valor es permisible debido

a su nocividad.

- **Nitrógeno Amoniacal.-** La presencia de grandes cantidades indica generalmente una contaminación reciente por materia orgánica en descomposición, siendo viable una contaminación bacteriológica. El amoníaco favorece la proliferación de ciertas bacterias que otorga olores desagradables.
- **Dureza.-** Es producida sobre todo por las sales de calcio y magnesio y en menor proporción por el hierro, el aluminio y otros metales. La que se debe a los bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio se denomina dureza temporal y puede eliminarse por ebullición.
- **Bicarbonatos y carbonatos.-** Estos iones constituyen los componentes alcalinos principales de casi todas las fuentes de agua, y son las que caracterizan la alcalinidad.
- **Oxígeno disuelto.-** Las aguas subterráneas son generalmente pobre en oxígenodisuelto, esta usencia no puede considerarse como contaminación, ya que el oxígeno contenido en el inicio del recorrido subterráneo ha podido tomar parte en un proceso de autodepuración natural. En estos casos se hace necesario airear el agua antes de su utilización.
- **Hierro.-** La presencia de hierro en el agua es siempre perjudicial, aunque su contenido sea pequeño, ya que se precipita en contacto con el oxígeno del aire, en forma de flocules rojizos que enturbian el agua y ensucian la ropa. El agua debe poseer máximo 0.3 mg/L, cuando excede este límite se forma un precipitado color pardo rojizo y proporciona sabor desagradable.

- **Fosfatos.-** El mayor problema de existencia de fosfatos en el agua es que ayudan a la proliferación de organismos, especialmente algas; en los sistemas de tuberías.
- **Sulfatos.-** Concentraciones mayores a 4000 mg/L afectan el sabor de las aguas, además esta agua tiene un efecto laxante y más aún cuando está acompañado de magnesio.
- **Sólidos totales disueltos.-** Están constituidos fundamentalmente por sustancias inorgánicas, las principales son calcio, magnesio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Su principal efecto es en el sabor y su concentración debe ser inferior a 600mg/L.
- **Sustancias orgánicas.-** Su presencia produce olores desagradables en el agua, incluso el mal olor producido puede ser un indicativo de aumento en la actividad biológica.

### 1.2.7.- CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación no es más que la alteración en la composición de la atmósfera del agua o del suelo, por todos aquellos materiales extraños y por algunos no extraños que por las excesivas emisiones comienzan a detectarse o aumentar su concentración.

En condiciones normales los ríos pueden auto-depurarse; las aguas arrastran los desechos hacia los océanos, las bacterias utilizan el oxígeno disuelto en las aguas y degradan los compuestos orgánicos, que a su vez son consumidas por los peces y las plantas acuáticas devolviendo el oxígeno y el carbono a la biosfera.

A medida que la humanidad va progresando, esto se hace cada vez más difícil. Diariamente se acumulan residuos productos de la lluvia, de actividades naturales y de todas las muestras actividades en el hogar, el comercio, en fábricas, talleres, actividades agrícolas y ganaderas.

La contaminación del agua se produce por:

- La erosión del suelo constituye un factor importante en la contaminación del agua en especie en épocas de lluvia, ya que se incrementa la cantidad de sólidos suspendidos.
- Descarga de aguas municipales, eliminación de residuos industriales, microorganismos patógenos o productores de enfermedades.
- Aplicación descontrolada de productos químicos al suelo (pesticidas, nitratos y fosfatos usados como abonos de plantas, sedimentos sólidos erosionados del suelo, etc.), que más tarde son arrastrados por el agua.
- Agregado de combustibles, aceites, sustancias nucleares o insecticidas a las aguas.
- El manejo indebido del desperdicio animal puede tener un efecto serio en los pozos y en la calidad de nuestra agua potable, si el estiércol no es manejado apropiadamente, existe una mayor posibilidad de que los contaminantes y las bacterias entren en las fuentes de agua subterránea. La aplicación de estiércol en el riego de tierras de cultivo con fertilizante conteniendo nitrógeno y otros nutrientes cerca de arroyos o cunetas, da un gran potencial para que los

contaminantes se filtren dentro de las fuentes o corrientes de agua subterránea.

Según la FAO(1981), los contaminantes según su efecto se puede dividir en dos grupos principales:

#### **1.2.7.1.- CONTAMINANTES DIRECTOS**

Estos contaminantes tienen efectos bien definidos y nocivos en las poblaciones de organismos acuáticos. Este grupo abarca los contaminantes térmicos y químicos tóxicos que pueden degradarse fácilmente, como el fenol o las sustancias toxicas persistentes y posiblemente bioacumulativa, tales como plaguicidas clorados orgánicos.

#### **1.2.7.2.- CONTAMINANTES INDIRECTOS**

Estos contaminantes son capaces de modificar el medio ambiente acuático de un modo que afecta perjudicialmente a la flora y fauna. Este grupo incluye las sustancias sólidas, orgánicas o inorgánicas, no toxicas que pueden quedar en suspensión y que por ello estorban la penetración de la luz y que en consecuencia la acción fotosintética de las algas, o bien puede sedimentarse, con lo cual afectan a los seres bentónicos<sup>4</sup>,y las aguas residuales con elevada demanda bioquímica de oxígeno, que son la causa de que en el media haya bajas concentraciones de oxígeno.



## **1.2.8.- AGUA RESIDUAL**

### **1.2.8.1.- DEFINICIÓN, ORIGEN.**

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado.

Según su origen las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua, que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de la industria y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual.

Así de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificados como:

- *Domésticas:* son aquellas aguas utilizadas con fines higiénicos (sanitarios, cocinas, lavanderías, etc.) Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de las descargas de las instalaciones hidráulicas de la edificación y también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.
- *Industriales:* son residuos líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.

- *Pluviales*: son aguas lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y el resto escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.

Otra forma de denominar a las aguas residuales es en base al contenido de contaminantes que esta porta, así se conocen como:

- Aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.
- Aguas grises a las aguas residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, que aportan sólidos suspendidos, fosfatos, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros.
- Aguas negras industriales a la mezcla de las aguas negras de una industria en combinación con las aguas residuales de sus descargas. Los contaminantes provenientes de la descarga están en función del proceso industrial, y la mayoría de ellos tienen efectos nocivos a la salud si no existe un control de la descarga.

#### **1.2.8.1.1- APARIENCIA**

El agua residual tiene una apariencia desagradable y en extremo peligrosa, en su contenido, principalmente debido al elevado número de organismos patógenos(virus, bacterias) causantes de enfermedades.

El residuo fresco tiene tonalidad grisácea, mientras que en el residuo séptico el color cambia gradualmente de gris a negro. El color negro caracteriza también el residuo de descomposición parcial.

Las aguasresiduales pueden, sin embargo, presentar cualquier color, en los casos de contribución de residuos industriales como, por ejemplo, los de la industria textil o de tintas.

### **1.2.9.- CARACTERISTICAS FÍSICO, QUÍMICAS Y BIOLOGICAS DEL AGUA RESIDUAL**

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química, las principales propiedades físicas del agua así como sus principales constituyentes químicos, y su procedencia. Es conveniente observar que muchos de los parámetros que aparecen en los análisis están relacionados entre ellos.

Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual.

#### **1.2.9.1.- CARACTERISTICAS FÍSICAS**

##### **1.2.9.1.1.- SOLIDOS TOTALES**

Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un periodo de 60 minutos.

Los sólidos totales pueden dividirse en filtrables y no filtrables (sólidos en suspensión). Cada una de estas categorías puede ser, a su vez, dividida en función de su volatilidad a 550+-50°C. A esta temperatura la fracción orgánica se oxida y desaparece en forma de gas (sólidos volátiles), quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas (sólidos fijos).

#### **1.2.9.1.2.- OLOR**

Son debido a gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, el agua residual reciente tiene un olor desagradable pero más tolerable que el agua residual séptica (debido al sulfuro de hidrógeno resultante de la reducción de sulfatos a sulfitos por microorganismos anaerobios). Estos pueden reducir el apetito, producir desequilibrios respiratorios, náuseas o vómitos.

#### **1.2.9.1.3.- TEMPERATURA**

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, es menor que la temperatura del aire en verano y mayor en invierno. Es un parámetro importante por su influencia en el desarrollo de la vida acuática, en las reacciones químicas y su velocidad de reacción. El oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. Temperaturas elevadas pueden dar origen a la proliferación de plantas acuáticas hongos.

En relación con los procesos de tratamiento, su influencia se presenta en las operaciones de naturaleza biológica, pues la velocidad de descomposición de las aguas residuales se incrementa con el aumento de temperatura y en las operaciones donde ocurre el fenómeno

de la sedimentación, el aumento de la temperatura hace que disminuya la viscosidad, mejorando las condiciones de este fenómeno.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre 25 y los 35°C.

#### **1.2.9.1.4.- DENSIDAD**

La densidad de un agua residual se define a como su masa por unidad de volumen, expresada en Kg/m<sup>3</sup>. Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad de fangos de sedimentación. También se puede emplear el peso específico.

#### **1.2.9.1.5.-TURBIEDAD**

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión.

#### **1.2.9.2.-CARACTERISTICAS QUÍMICAS**

##### **1.2.9.2.1.-MATERIA ORGANICA**

Cerca del 75% de lo sólidos en suspensión y el 40% de lo sólidos filtrables de una agua residual son de naturaleza orgánica. Los compuestos orgánicos se forman por combinaciones de carbono, hidrogeno, oxígeno en presencia de nitrógeno y en pocos casos pueden también estar presentes al azufre, fosforo y hierro.

Los componentes orgánicos constituyen las proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%), la urea como principal componente de la orina se encuentra en aguas residuales frescas.

Algunos hidratos de carbono son solubles en agua como los azúcares que tienden a descomponerse, enzimas de ciertas bacterias y fermentos dan lugar a un proceso de fermentación con la producción de alcohol y dióxido de carbono. Otros como los almidones son insolubles, son más estables, pero se convierten en azúcares por la acción de ácidos minerales diluidos.

Los desinfectantes y productos químicos de uso, son tóxicos para la mayor parte de formas de vida, se encuentran en trazas como producto de la escurritia.

#### **1.2.9.2.1.1.- MEDICION DEL CONTENIDO ORGANICO**

La concentración de materia orgánica se mide con los análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), y carbono orgánico total (COT).

##### **1.2.9.2.1.1.1- DBO Y DQO**

La **DBO** es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20°C. De modo similar la **DQO** es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de bicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua.

El valor de la DQO es siempre superior a la DBO porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO suele emplearse para

comprobar la carga orgánica de las aguas residuales que no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos.

El DQO es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por una cantidad de agua residual durante la oxidación “por vía química” provocada por un agente químico fuertemente oxidante. Su determinación es más rápida de que la DBO, precisando su ensayo 1 o 2 horas si la oxidación se efectúa en frío o, bien 30 minutos si la oxidación se efectúa con dicromato en caliente.

Los resultados de la DBO se emplean para: determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, para dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están los vertidos.

**DBO:** Normalmente, se supone que la DBO es una reacción de primer orden. En una reacción de orden 1 la velocidad de oxidación es proporcional a la concentración presente de materia orgánica oxidable.

Una vez formada una población adecuada de microorganismos, la velocidad de reacción está controlada por la cantidad de alimento disponible, esto es:

$$\frac{dl}{dt} = -KL$$

Ec: 1

En donde:

- ❖  $L$  = concentración de DBO presente.
- ❖  $t$  = tiempo
- ❖  $K$  = constante cinética de orden 1 del proceso.

Para calcular la cantidad de DBO en proporción a la cantidad de oxígeno se utiliza con la siguiente fórmula.

$$DBO(O_2) = \frac{(V_f - V_i) * N * Eq * 100}{V}$$

Ec:2

Dónde:

- ❖  $V_f$  = Volumen de titulante consumido después de 5 días.
- ❖  $V_i$  = Volumen de titulante consumido en el primer día.
- ❖  $N$  = Normalidad del oxígeno.
- ❖  $Eq$  = Equivalente químico del oxígeno.
- ❖  $V$  = Volumen del recipiente (frasco Wheaton)



#### **1.2.9.2.2.-MATERIA INORGÁNICA**

Comprenden nutrientes como amoníaco, nitritos, nitratos, fósforo, los mismos que han sido identificados como los causantes del crecimiento indeseable de plantas acuáticas.

##### **1.2.9.2.2.1.- ALCALINIDAD**

De un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco.

La concentración de la alcalinidad en aguas residuales es importante en aquellos casos en los que se empleen tratamientos químicos, en la eliminación biológica de nutrientes y cuando haya que eliminar el amoníaco mediante arrastre por aire.

##### **1.2.9.2.2.2.- Ph**

Es un parámetro de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales, el intervalo de concentraciones adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico, el agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si esta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.

Pruebas como el Ph, alcalinidad, cloruros, sulfatos son realizados para estimar la capacidad de reutilización de las aguas residuales tratadas, las pruebas de metales y otros constituyentes se realizan para estimar la capacidad de digestión del biosólido (lodos).

En las aguas residuales se encuentran varios tipos de gases como son: el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco o el metano. Los tres

primeros se encuentran en todas las aguas que están en contacto con la atmósfera. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

### **1.2.9.3.-CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS**

Las características biológicas de las aguas residuales son de vital importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos y por el importante papel que tienen las bacterias y otros microorganismos en la descomposición y estabilización de la materia.

#### **1.2.9.3.1.-MICROORGANISMOS**

Los principales grupos en aguas residuales son organismos Eucariotas (incluye algas, hongos y protozoos), eubacterias y arqueobacterias.

#### **1.2.9.3.2.- ORGANISMOS PATÓGENOS**

Pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o sean portadores de determinada enfermedad. Los principales son los virus, bacterias, protozoos y del grupo helmintos. Los organismos bacterianos patógenos excretados por el hombre causan enfermedades intestinales como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera.

En nuestro caso por el elevado control preventivo que mantiene la clínica, no se encuentran amenazas biológicas.

### **1.2.10.- TIPOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES**

Los contaminantes presentes en el agua residual se pueden eliminar por mecanismos de tipo físico, químico o biológico. Los métodos se clasifican en operaciones físicas unitarias,

procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios. En los sistemas de tratamiento se realizan combinaciones de estas operaciones y procesos, es conveniente estudiar las bases científicas de cada uno de ellos por separado.

Los métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como operaciones físicas unitarias, las más típicas son: floculación, sedimentación, flotación filtración, tamizado, transferencia de gases.

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o transformación de contaminantes se produce por la adición de productos o reacciones se conoce como procesos químicos unitarios. “Los métodos de tratamiento en donde la remoción de contaminantes se realiza por la actividad biológica, se denominan procesos biológicos unitarios, su principal aplicación es la remoción de constituyentes orgánicos biodegradables de las aguas residuales. Estas sustancias se transforman en gases que se escapan a la atmósfera, y el tejido celular biológico puede ser removido por sedimentación. Los tratamientos biológicos se emplean también para remover nutrientes (nitrógeno y fósforo) de las aguas residuales”<sup>3</sup>.

#### **1.2.10.1.- TRATAMIENTOS PRELIMINARES**

Se hacen como antecedentes a los tratamientos primarios, secundarios o terciarios, pues las aguas residuales pueden venir con desechos muy grandes y voluminosos que no pueden llegar a las plantas de tratamiento y sirven de igual manera para aumentar la efectividad de estos procesos.

---

<sup>3</sup>BARRIONUEVO, GUADALUPE. M. “Diseño de la planta de tratamiento para las aguas servidas de la ciudad de Chambo” Pp 32.

Para este proceso son utilizados las rejillas, los tamices y los micro filtros.

#### **1.2.10.1.1.- LAS REJILLAS**

Son dispositivos formados por barras metálicas, paralelas del mismo espesor e igualmente espaciadas. Con estas se retiene todo el material grueso, su principal objetivo es retener basuras, material solido grueso que pueda afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, etc.

“Las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales pueden no necesitar de la operación con rejas, dependiendo de las características de los residuos”<sup>4</sup>.

#### **1.2.10.1.2.- LOS TAMICES**

Luego de las rejillas se colocan tamices, con aperturas menores para remover un porcentaje más alto de sólidos, con el fin de evitar atascamiento de tuberías, filtros biológicos, con una apertura máxima de 2.5 mm.

#### **1.2.10.1.3.- LOS MICROFILTROS**

Son planillas giratorias plásticas o de acero por las cuales circula el agua y recogen los desechos y las basuras en su interior, los micro filtros tienen sistemas de lavado para que así puedan mantener las mallas limpias.

Dependiendo de la aplicación que tengan se selecciona el tamaño de la mallas.

---

<sup>4</sup>BARRIONUEVO. GUADALUPE. M. “Diseño de la planta de tratamiento para las aguas servidas de la ciudad de chambo” Pp 58.

### **1.2.10.2.- TRATAMIENTO PRIMARIO**

En este tipo de tratamiento lo que se busca es remover los materiales que son posibles de sedimentar, usando tratamiento físicos o físico-químicos. En algunos casos dejando, simplemente, las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o, en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua contenida en estos grandes tanques, sustancias químicas quelantes.

“Con estos tratamientos se eliminan los sólidos disueltos y coloidales del agua residual. Como parte de tales solidos son materia orgánica, la consecuencia del tratamiento primario es la reducción de la DBO, y también de la contaminación bacteriológica y de la turbidez”<sup>5</sup>.

- La precipitación química o coagulación es un proceso por el cual se agregan sustancias químicas para que así se dé una coagulación de los desechos y poder retirar así los sólidos que hacen más rápida y eficaz la sedimentación.
- La neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco (desorción). Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase.
- La sedimentación primaria, la filtración, neutralización y la desorción.
- La sedimentación física es el proceso mediante el cual se dejan asentar por gravedad los sólidos en suspensión en las aguas residuales.

---

<sup>5</sup>BARRIONUEVO. GUADALUPE. M. “Diseño de la planta de tratamiento para las aguas servidas de la ciudad de chambo” Pp 61.

#### **1.2.10.2.1.-PROCESOS DE SEPARACIÓN SOLIDO-LÍQUIDO**

**Sedimentación.**-Se eliminan los sólidos en suspensión de pequeño tamaño, mediante la acción de la gravedad. Utilizando sedimentadores de planta cuadrada o circular. Se separa un líquido más o menos claro y un lodo con una alta cantidad de sólidos.

La sedimentación o clarificación es la eliminación de materia particulada, los floculos químicos y los precipitados en suspensión, a través de la deposición por gravedad.

Un diseño deficiente del depósito de sedimentación producirá una disminución de la eficiencia del tratamiento, lo cual puede producir trastornos que pueden afectar a otras operaciones posteriores, el tiempo de retención mínimo recomendado para la pre sedimentación es de 3h.

Normalmente las cubas de sedimentación se diseñan para la coagulación química o el ablandamiento. Pueden construirse de acero u hormigón con una amplia gama de formas y mecanismos de flujo, para minimizar los efectos de un posible cortocircuito y flujo turbulento, se realiza un cuidadoso diseño hidráulico eficaz de las estructuras de entrada y salida en todos los estanques.

#### **Tiempo de Retención Hidráulico**

Es el tiempo que demoraría una partícula en recorrer la longitud del sedimentador en sentido horizontal desde el momento de su entrada al sistema.

$$Trh = \frac{V}{Q}$$

Ec:3

Dónde:

- ❖  $T_{rh}$  = Tiempo de retención hidráulico en h.
- ❖  $Q$  = caudal a tratar en  $m^3/h$
- ❖  $V$  = Volumen en  $m^3$

El equipo de eliminación debe diseñarse para resistir la elevada acción abrasiva del lodo, como se indica en el gráfico 3. En la cubeta de pre sedimentación donde la arena y la arenisca silíceas son un problema y en las plantas de ablandamiento donde se elimina el lodo de cal, es muy importante el diseño cuidadoso de las palas, y las partes con desgaste deben situarse por encima de la línea del agua.

Puede calcularse la fuerza exigida para mover los colectores de lodo mecánicos según la ecuación.

$$F = fWn = fA$$

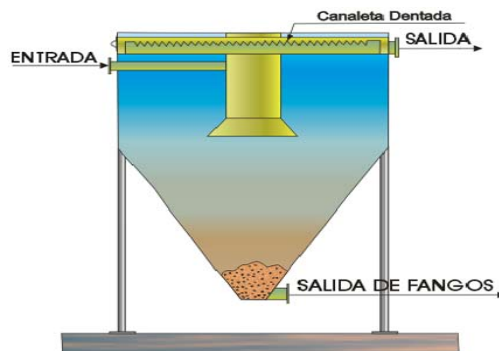
Ec:4

Dónde:

- ❖  $F$  = La fuerza en el cable o cadena, kg(lb).
- ❖  $f$  = El factor de carga, lb(kg/m).
- ❖  $W$  = La anchura de la cuba (longitud del cabezal, pala o cangilón), pies (m).

- ❖  $n$ = El número de cabezal, pala o cangilones en contacto con el lodo.
- ❖  $A$ = El área total de todas las palas en contacto con el lodo,  $\text{pies}^2(\text{m}^2)$

**Gráfico 3.- Sedimentador**



Fuente: diseño sedimentador/com

**Flotación.-** Se crean micro burbujas de aire en la masa de agua; las partículas sólidas de adhieren a estas y son arrastradas a la superficie, de donde se eliminan. Para crear las micro burbujas, se presuriza el flujo de agua, se introduce aire hasta la saturación, y se despresuriza el exceso de aire disuelto se libera en forma de micro burbujas.

**Procesos mixtos.-** (decantación-flotación), se aprovecha las características de ambos procesos: se trata en un decantador en cuyo interior se coloca un flotador. El agua está el tiempo suficiente para permitir que las partículas no flotadas por las micro burbujas lleguen a sedimentar.



#### **1.2.10.2.2.-PROCESOS COMPLEMENTARIOS DE MEJORA.**

**Coagulación.-** La coagulación o (mezcla rápida), generalmente seguida por la filtración, es con mucho el proceso más utilizado para la eliminación de las sustancias que producen turbidez en el agua. Estas sustancias son en su mayoría minerales arcillosos y organismos microscópicos de muy diversos tamaños, desde los que precipitan rápidamente, hasta los de menor tamaño que pueden permanecer en suspensión durante largos periodos de tiempo.

De este modo, para un agua dada, habrá una interrelación óptima de condiciones tales como el pH, la turbidez, la composición química del agua, el tipo de coagulante y de factores físicos tales como la temperatura y las condiciones de mezcla. Estas interrelaciones son tan complejas que por el momento es imposible predecir, desde bases puramente teóricas, la dosis óptima de coagulante para un agua en particular. La dosis propia y las condiciones físicas para la coagulación deben determinarse empíricamente.

Entre los coagulantes primarios más comunes se encuentran los basados en hierro o aluminio, la cal y los polímeros. El sulfato de aluminio, más conocido como alúmina, es bastante efectivo para valores de pH de entre 5.5 y 8.0. El aluminato sódico se utiliza en casos especiales o como adición en una coagulación secundaria de las aguas superficiales muy coloreadas y en el ablandamiento con cal. El sulfato férrico reacciona con la alcalinidad y es efectivo en un amplio rango de Ph. Cuando el pH es bajo, elimina el color, mientras que si el pH es alto, elimina el hierro y el manganeso. El cloruro férrico también reacciona con la alcalinidad, pero tiene un uso limitado en el tratamiento de aguas. Los polímeros actúan bien produciendo y mejorando el floculo.

La coagulación es el proceso químico en el que se compensa la carga de la partícula, mientras que la floculación es el proceso físico que aglomera las partículas (demasiado pequeñas para su deposición gravitacional) para que puedan ser eliminadas con éxito durante el proceso de sedimentación.

Un parámetro frecuentemente utilizado para expresar la energía suministrada es el gradiente temporal de velocidad media  $G$  (que tiene dimensiones de 1/tiempo).

$$G = \left( \frac{P}{\mu V} \right)^{1/2}$$

Ec:5

Dónde:

- ❖  $P$  = Es la energía disipada en el agua,  $W$  ( $ft \cdot lb/s$ ).
- ❖  $V$  = Es el volumen del tanque o deposito, o el volumen de agua al que se aplica la energía,  $ft^3(m^3)$ .
- ❖  $\mu$  = Es la viscosidad absoluta del agua,  $lb \cdot s/ft^2(N \cdot s/m^2)$

El grado de turbulencia requerido para la mezcla rápida puede determinarse por varios mecanismos diferentes. La importancia de la flexibilidad en el funcionamiento no debe sobreestimarse.

La seguridad sobre el flujo de la tubería, las bombas del proceso, las cámaras con pantallas, etc., para acompañar al proceso de mezcla dejan al operador de la planta con muy

pocas o ninguna oportunidad de ajustar el funcionamiento para que este se acomode a las necesidades del tratamiento.

**Floculación.-** Usualmente la floculación se produce por agitación mecánica, lo que produce el movimiento de una masa del fluido y se conoce comúnmente como proceso unitario de floculación, como se indica en el grafico 4.

La fase de floculación dentro del proceso de tratamiento del agua consiste en la agregación o el crecimiento de la suspensión coloidal desestabilizada. La floculación sigue a la desestabilización y en algunos momentos solapa con ella. Esta desestabilización está controlada esencialmente por la química del proceso en la cual la floculación es la parte del transporte que resulta de las colisiones entre las partículas coloidales desestabilizadas, lo que conduce a la formación del floculo.

Se identifican generalmente dos grandes mecanismos de floculación:

- La perikinesis, que es la agregación resultante del movimiento térmico al azar de las moléculas del fluido y es significativa para partículas menores de 1 o 2 mm.
- La ortokinesis, que es inducida por los gradientes de velocidad en el fluido. Este último es el predominante en el tratamiento de aguas, además la fluctuación de velocidades puede provocar también el contacto entre partículas, conduciendo a la agregación.

La intensidad de mezcla óptima puede calcularse usando la relación mostrada a continuación.

$$T(G^*) = \frac{44 * 10^5}{C}$$

Ec:6

Dónde:

- ❖ T= Tiempo de floculación, min.
- ❖ G\*= Intensidad de mezcla optima, s<sup>-1</sup>
- ❖ C= Alúmina o dosis equivalente de sulfato de aluminio, mg/L.
- ❖ 44\*10<sup>5</sup>= Constante empírica.

Si el valor de G calculado es menor de 1 s<sup>-1</sup> , no se lograra una mezcla adecuada. Esta condición puede corregirse disminuyendo el tiempo de retención o modificando la dosis química.

**Gráfico 4.- Floculador**



Fuente: diseño floculador/com

**Neutralización.-** Es un proceso indispensable para aguas que van a sufrir tratamientos biológicos posteriores y cuyo PH se haya alejado de la neutralidad. Se trata de ajustar el ph a valores entre 6.5-7.5. Estos procesos se pueden dar mediante agentes neutralizantes (el

procedimiento más utilizado es la cal, sosa, caliza, carbonato sódico-para neutralizar aguas acidas, y ácido sulfúrico o ácidoclorhídrico-para neutralizar aguas básicas).

El tratamiento primario elimina aproximadamente el 35% de la DBO, el 60% de los sólidos en suspensión en el que se incluye el 20% del nitrógeno total y el 10% del fosforo, pero ninguno de los sólidos disueltos. Obviamente el tratamiento primario debe completarse con métodos adicionales.

#### **1.2.10.3.-TRATAMIENTO SECUNDARIO**

El objetivo de estos tratamientos es el de reducir la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua residual a tratar. Son en su mayoría procedimientos biológicos, aerobios o anaerobios; en este segundo caso puede formarse amoníaco, que por reacción con el  $\text{CO}_2$  da carbonato amónico, dando propiedades fertilizantes a los lodos formados.

En muchos casos, se emplean en combinación con las operaciones y procesos unitarios que se utilizan para el pre tratamiento y tratamiento primario del agua residual, y que fueron descritos anteriormente. Mientras que la sedimentación primaria es muy efectiva en la eliminación de los sólidos sedimentables, los procesos biológicos son más efectivos en la eliminación de compuestos orgánicos solubles o del tamaño de partículas coloidales.

“No obstante, algunos procesos como las lagunas aireadas, lagunas de estabilización y sistema de lodos activados con aireación prolongada, se proyectan para que funcionen sin sedimentación primaria”<sup>6</sup>.

- a. Los procesos biológicos de mayor aplicación son:
- b. Las lagunas aireadas.
- c. Los sistemas de lodos activados.
- d. Los lechos bacterianos aerobios( filtros percoladores)
- e. Los sistemas de digestión anaerobia.
- f. Las lagunas de estabilización.

Las principales aplicaciones de estos procesos son : la eliminación de la materia orgánica carbonosa del agua residual, normalmente medida como DBO, carbono orgánico total COT, o demanda química de oxígeno DQO; la nitrificación: la des nitrificación; eliminación de fosforo y la estabilización de fangos. La eficacia de estos métodos permiten eliminar hasta el 90% de la DBO y los sólidos en suspensión, siendo un gran complemento del tratamiento primario.

Los procesos anaerobios se utilizan para el tratamiento de los lodos producidos en exceso en los sistemas de tratamiento aerobio. Entre estos, de más o menos complejos, se encuentran los siguientes: lagunas de estabilización, lagunas aireadas, filtros biológicos y fangos activos.

---

<sup>6</sup>BARRIONUEVO. GUADALUPE. M. “Diseño de la planta de tratamiento para las aguas servidas de la ciudad de chambo” Pp 63

### **1.2.10.3.1.- CONCEPTOS DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN TRATAMIENTO SECUNDARIO O BIOLÓGICO.**

#### **Proceso Aerobio.**

Proceso de tratamiento biológico que ocurre en presencia de oxígeno disuelto. En ellos son las bacterias y organismos aerobios los que ejecutan respiración con el oxígeno como último aceptor de hidrogeno y electrones en la cadena respiratoria, para formar  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , nitratos, sulfatos, fosfatos, etc.

#### **Proceso anaerobio.**

Proceso de tratamiento biológico que ocurre en ausencia de oxígeno disuelto. En ellos son las bacterias y organismos anaerobios los que ejecutan respiración con un elemento diferente del oxígeno como último aceptor de hidrogeno y electrones en la cadena respiratoria, para formar  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ .

#### **Eliminación biológica de los nutrientes.**

Eliminación de nitrógeno y fosforo mediante procesos de tratamiento biológico.

#### **Procesos facultativos.**

Procesos de tratamiento biológico en los que los responsables son organismos facultativos, que pueden funcionar en presencia o ausencia de oxígeno.

**Nitrificación.**

Proceso biológico a través del cual el nitrógeno se transforma en nitritos y nitratos.

**Des nitrificación.**

Proceso biológico mediante el cual el nitrato se transforma mayoritariamente en nitrógeno gaseoso, y minoritariamente en otros productos gaseosos.

**Eliminación de la DBO carbonosa.**

Es la conversión biológica de la materia carbonosa del agua en tejido celular y en diversos productos gaseosos. En la conversión se supone que el nitrógeno presente en los diferentes compuestos se convierte en amoníaco.

**1.2.10.4.- TRATAMIENTOS TERCIARIOS**

Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias. Algunas veces el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario. Se ha empleado la filtración rápida en arena para poder eliminar mejor los sólidos y nutrientes en suspensión y reducir la demanda bioquímica de oxígeno.



Los tratamientos terciarios de afino, refino o avanzada, se realizan para eliminar de forma específica los contaminantes que todavía quedan en el agua, bien porque aún no han sido tratados, bien porque queda el nivel de fondo que no ha podido quitarse en los tratamientos anteriores.

El objetivo de estos tratamientos es reducir o eliminar totalmente los sólidos en suspensión y disueltos, la DBO y la DQO, el nitrógeno, el fosforo y el potasio; los detergentes, las sustancias toxicas, el sabor, color y olor del agua.

“El tratamiento que se utilice depende del uso que se vaya a dar al agua depurada: agricultura, usos urbanos no potables, evacuación al mar o aguas subterráneas, piscicultura, usos industriales, etc.”<sup>7</sup>

De entre los posibles tratamientos terciarios, los más importantes son:

**Filtración.-** Se separan los materiales en suspensión y coloidales procedentes de los tratamientos anteriores. Al quedar retenidos en la malla, forman una torta a la que se pueden absorber otras sustancias, aumentando el poder de retención de partículas; sin embargo, produce una disminución en la carga que debe ser compensada con un sistema de bombeo; la mayor presión puede provocar la rotura del material filtrante. Los filtros más utilizados son de gravedad y de vacío, y tienen la ventaja de que admite grandes volúmenes de agua a tratar.

---

<sup>7</sup>BARRIONUEVO. GUADALUPE. M. “Diseño de la planta de tratamiento para las aguas servidas de la ciudad de chambo” Pp 64

La filtración se define como el paso de un fluido a través de un medio poroso para eliminar la materia contenida en suspensión, en la purificación del agua, entre la materia a eliminar se incluye arcilla, arena, coloides y microorganismos en suspensión.

El tamaño y la consistencia de los floculos son de vital importancia en el proceso de filtración. En el agua de entrada a los filtros, el tamaño de estas partículas puede variar entre los 2 mm y menos de 0.1 mm. En un filtro que contenga un medio filtrante redondeado, el tamaño de los poros puede ser entre el 15 y 40 por ciento del diámetro de las partículas. De este modo, el tamaño de los poros en una capa de arena de 0.5 mm variara entre los 0.1 y los 0.2 mm. En medios gruesos y angulosos, como la antracita de 1.2 mm, debido a su mayor porosidad, los poros son más grandes, de entre 0.3 y 0.6 mm.

En los últimos años, los filtros de arena han sido sustituidos, en muchos de los casos, por filtros de medio mixto o mezclado. Consisten en medios de diferente densidad y tamaños variables en un intento de aproximarse a una graduación inversa de tamaños. Dos de los esquemas más comunes aplicados a la filtración del agua potable son:

- ❖ Medio dual, compuesto por carbón de antracita grueso (su peso específico es de 1.4 a 1.6 aproximadamente) de un espesor de 12 pulgadas (30.5cm) aproximadamente.
- ❖ Configuración de medio mezclado, que utiliza carbón (su peso específico es de 1.4 a 1.6 aproximadamente), arena de sílice (su peso específico es de 2.6 ) y arena de granate (de peso específico 4.5 aproximadamente)

Ambos filtros son un intento por crear un mecanismo ideal para la filtración (gráfico 5) habilitando medios en los que las partículas mayores (2mm) quedan en la parte superior y las más pequeñas (0.2mm) en la inferior (es decir, la graduación inversa). Los filtros de medios granulares pueden utilizarse con o sin pre tratamiento de coagulación y

sedimentación, para la eliminación de sólidos, de ablandamiento de cal para los precipitados pesados o de precipitación de hierro y magnesio en los suministros de agua procedentes de pozos.

**Gráfico 5.- Filtro**



Fuente: filtros@/com

**Adsorción.**-Se retienen partículas en suspensión en la superficie de un sólido, por procesos físicos. Se utiliza casi exclusivamente con aguas potables e industriales, reteniendo las sustancias orgánicas, las tóxicas y las poco biodegradables. Se suelen utilizar geles (sales de aluminio), tierras adsorbentes (silicatos de aluminio) y carbón activado en gránulos o finamente divididos.

**Eliminación de nitrógeno y fósforo.**- Para evitar la eutrofización, y porque interfieren en los procesos de desinfección con cloro. Estos procesos pueden ser físico-químicos (eliminación de amoníaco, intercambio iónico, electrodiálisis, cloración) o biológicos (nitrificación-a nitritos y luego nitratos- y des nitrificación-a nitrógeno molecular,  $N_2$ ).

Para el fósforo se emplean métodos químicos (precipitación con aluminio, hierro o calcio).

**Desinfección.-** Obligada para el suministro de agua a las ciudades, se suelen emplear agentes físicos como el calor o luz ultravioleta: y agentes químicos como el ozono, cloro o permanganato de potasio. El cloro es el más utilizado de todos.

**Osmosis inversa y electrodiálisis.-** Se utiliza la propiedad de las membranas semipermeables de dejar pasar el disolvente (agua en este caso). Pero no el soluto (las sales), desde una concentración baja en soluto hasta una concentración alta en soluto para satisfacer las diferencias de presión causadas por el soluto.

La osmosis y la osmosis inversa dependen de la presencia de barreras o membranas que son selectivas, pero que el disolvente de una solución puede atravesarla mientras que los otros componentes de la solución o el soluto no pueden, dicha membrana se describe como semipermeable, la presión osmótica es la presión requerida para detener el flujo de solvente a través de una membrana semipermeable que separa dos soluciones con distintas concentraciones. Para separar el agua de los sólidos disueltos por osmosis inversa, la presión aplicada debe ser mayor que la presión osmótica. Mientras que en la electrodiálisis se hace pasar una corriente eléctrica entre dos contactos situados en el agua: los distintos iones de las sales disueltas se dirigen hacia los polos del signo opuesto.

#### **1.2.10.5.- DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

**Caudal.-** En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Para determinar el caudal del agua se utilizó el método del objeto flotante, el cual consiste en el siguiente procedimiento:

- a. Ubicar en el canal un tramo aproximando 10m(L) y de sección uniforme. Marcar el punto P<sub>o</sub> al inicio del tramo y el punto P<sub>f</sub> al final del tramo seleccionado.
- b. A la altura del punto P<sub>o</sub> soltar un pequeño tallo seco y anotar el tiempo (t)(seg) que demora en desplazarse hasta la altura P<sub>f</sub>. Realice por lo menos 5 mediciones. Del tiempo (t) y saque un promedio para realizar el cálculo de la velocidad.

Calcular la velocidad (v) del agua utilizando la siguiente formula:

$$v = \frac{L}{t}$$

Ec:7

Dónde:

- ❖ v = velocidad del agua (m/s)
- ❖ L= longitud del tramo (m)
- ❖ t = tiempo (s)

Observar el tipo de terreno del canal para seleccionar el factor de corrección (C) del caudal

**Tabla 2.- Factores de corrección para el cálculo del caudal**

<b>TIPO DE TERRENO DEL CAUDAL</b>	<b>FACTOR DE CORRECCION (C)</b>
Canal de concreto	0.8
Canal de tierra	0.7
Arroyo quebrado	0.5

Fuente: [www.turbinas3hc.com](http://www.turbinas3hc.com)

Calcular el caudal a partir de la siguiente formula:

$$Q = C * v * A$$

Ec:8

Dónde:

- ❖ Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)
- ❖ v= velocidad del agua (m/s)
- ❖ A= área de la sección
- ❖ C= factor de corrección

**Caudal de Diseño:** Para calcular el caudal de diseño se emplea el factor demayorización(FM) correspondiente al 30%

**Tanque de homogenización.-** El volumen del depósito de homogeneización, depende del caudal vertido y del régimen de trabajo. En general, se ha de calcular un volumen al menos igual al caudal diario vertido,

**Mezcladores estáticos:** Esta clase de mezcladores se utiliza a menudo para mezclar reactivos químicos con el agua residual.

Potencia necesaria para mezcladores estáticos: La cantidad de potencia consumida en mezcladores estáticos se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$P = \gamma Qh$$

Ec:9

Dónde:

- ❖ P= potencia disipada (kw)
- ❖  $\gamma$ = peso específico del agua (Kn/m<sup>3</sup>)
- ❖ Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)
- ❖ h = pérdidas de energía por el fluido en su paso por el mezclador estático (m)

**Tanque de sedimentación primaria.-**Siempre que un líquido que contenga sólidos es suspensión se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tenderán a depositarse en el fondo, y los de menor peso específico a ascender. Estos principios básicos se emplean para el análisis y diseño de los tanques de sedimentación utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

La finalidad del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y del material flotante y, por lo tanto, reducir el contenido de sólidos en suspensión en el agua tratada.

Los tanques de sedimentación primaria contribuyen de manera importante al tratamiento del agua residual. Cuando se utilizan como único medio de tratamiento, su objetivo principal es la eliminación de:

- Sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras.
- Aceite libre, grasas y otras materias flotantes, y
- Parte de la carga orgánica vertida a las aguas receptoras.

Cuando los tanques se emplean como paso previo de tratamientos biológicos, el cual no es el caso del proyecto, su función es la reducción de la carga afluente a los reactores biológicos. Los tanques de sedimentación primaria dimensionados y operados de manera eficiente pueden eliminar entre el 50 y 70 % de los sólidos suspendidos y entre el 25 y 40 % de la  $\text{DBO}_5$ .

Los tanques de sedimentación primaria que proceden a los procesos de tratamiento biológico, pueden diseñarse de forma que sus tiempos de retención hidráulica sean menores y tengan una carga de superficie más alta que los que se utilizan como único medio de tratamiento, excepto cuando el lodo activado en exceso se envíe a los tanques de sedimentación primaria para su mezcla con el lodo primario.



**Fundamentos del diseño.-** si todos los sólidos presentes en el agua residual fueran partículas discretas de tamaño, densidad, peso específico y forma uniforme, la eficiencia de eliminación de estos sólidos dependería solamente del área superficial del tanque y del tiempo de retención. En el caso, suponiendo que las velocidades de circulación horizontales se mantuvieran por debajo de las de arrastre, la profundidad del tanque tendría poca importancia. Sin embargo, en la realidad, los sólidos de la mayoría de las aguas residuales no presentan características regulares debido a su naturaleza heterogénea. A continuación se describen los parámetros más importantes involucrados en el diseño de sedimentadores primarios.

**Cargas de superficie.-** Los tanques de sedimentación se suelen dimensionar en función de la carga de superficie, expresada en  $\text{m}^3/\text{m}^2$ . La adopción de una carga de superficie adecuada depende del tipo de suspensión que se deba sedimentar la tabla 3 presenta la información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria.

**Tabla 3.- Información típica para el diseño de sedimentación primaria**

CARACTERISTICAS	INTERVALO	TIPICO
<b>Sedimentación primaria</b>		
Tiempo de retención, h	<b>1.5-2.5</b>	<b>2</b>
<b>Carga de superficie, <math>\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}</math></b>		
A caudal medio	<b>30-50</b>	<b>40</b>
A caudal de punta	<b>80-120</b>	<b>100</b>
Carga sobre vertero, $\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{día}$	<b>125-500</b>	<b>250</b>

<b>Sedimentación primaria con adición del lodo en exceso:</b>		
Tiempo de retención, h	<b>1.5-2.5</b>	<b>2</b>
<b>Carga de superficie, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>*día</b>		
A caudal medio	<b>24-32</b>	<b>28</b>
A caudal de punta	<b>48-70</b>	<b>60</b>
<b>Carga sobre vertedero, m<sup>3</sup>/m*día</b>		

Fuente: Metcalf& Eddy, 1996

Los efectos de la carga de superficie y del tiempo de retención sobre la eliminación de sólidos suspendidos varían ampliamente en función de las características del agua residual, de la proporción de sólidos sedimentables y de la concentración de sólidos, principalmente. Es conveniente poner especial atención en el hecho de que las cargas de superficie deben ser lo suficientemente reducidas como para asegurar el rendimiento de las instalaciones en condiciones de caudal de punta.

#### **Cálculo del área sedimentador:**

Según Metcalf- Eddy para determinar el área superficial del sedimentador, se utiliza la siguiente expresión:

$$CS = \frac{Q}{A}$$

Ec:10

Dónde:

- ❖ CS= carga superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ )
- ❖ Q= caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- ❖ A= área ( $\text{m}^2$ )

Despejando la ecuación anterior se obtiene:

$$A = \frac{Q}{CS}$$

Ec:11

La carga superficial que se utiliza es la correspondiente a la tabla 3, para caudal medio.

#### **Volumen del sedimentador:**

El volumen es la magnitud física que se expresa la extensión de un cuerpo en sus tres dimensiones largo, ancho y altura.

$$V = L * a * h$$

Ec:12

Dónde:

- ❖ V= volumen del sedimentador ( $\text{m}^3$ )
- ❖ L= largo (m)
- ❖ a= ancho (m)
- ❖ h= altura (m)

Para poder determinar el volumen del sedimentador se debe utilizar la siguiente ecuación para determinar primero el área.

$$A = L * a$$

Ec :13

Dónde:

- ❖ A= área del sedimentador (m<sup>2</sup>)
- ❖ L= largo (m)
- ❖ a= ancho (m)

Aplicando una relación largo-ancho 1:4, se tiene:

$$L = 4a^2$$

Ec :14

Remplazando en la ecuación se tiene:

$$a = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

Ec :15

### **Tiempo de retención:**

Por lo general, los tanques de sedimentación primaria se proyectan para proporcionar un tiempo de retención entre 1.5 a 2.5 horas para el caudal medio del agua residual. Los

tanques que proporcionan tiempos de retención menores (0.5 a 1h), con menor eliminación de sólidos suspendidos, se usan en ocasiones como tratamiento primario previo a las unidades de tratamiento biológico.

En el análisis y diseño de tanques de sedimentación primaria, los efectos de la temperatura no suelen requerir atención especial. Sin embargo, en zonas de climas fríos, los incrementos de la viscosidad del agua producidos por las bajas temperaturas pueden retardar la sedimentación de las partículas y, consecuentemente, reducir la eficiencia del proceso de separación de sólidos cuando las temperaturas bajen de los 10°C.

El tiempo de retención se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

Ec:16

Dónde:

❖ V=volumen (m<sup>3</sup>)

❖ Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)

### **Remoción de DBO y SST**

Se obtuvo a partir de observaciones realizadas a sedimentadores en funcionamiento, y en ella se presenta información útil acerca de la eficiencia en la remoción de DBO y SST en

tanques de sedimentación primaria, como función de la concentración del afluente y el tiempo de retención.

La familia de curvas puede modelarse matemáticamente como una hipérbola regular usando la siguiente expresión:

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

Ec :17

Dónde:

- ❖ R=porcentaje de remoción de DBO o SST esperado, (%)
- ❖ t = tiempo nominal de retención, (h)
- ❖ a,b= constantes empíricas

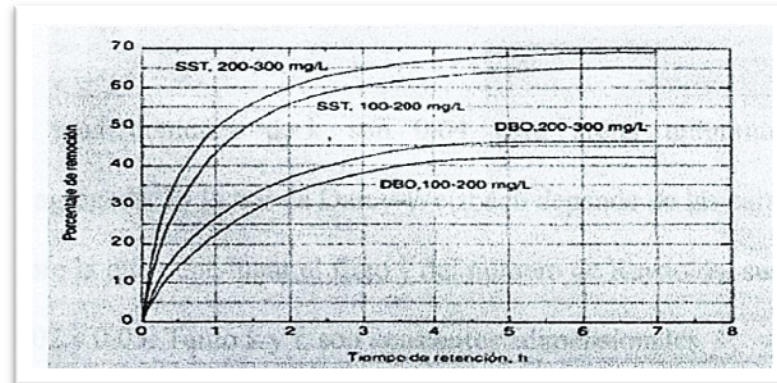
De acuerdo a Crites y Tchobanoglous (2000), las constantes a y b pueden tomar los siguientes valores a 20°C (Tabla 4)

**Tabla 4.- Valores de las constantes empíricas a y b.**

<b>VARIABLE</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Fuente: Crites y Tchobanoglous

**Gráfico 6.- Remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria**



Fuente: Metcalf& Eddy, 1996.

**Velocidad de arrastre.-** La velocidad de arrastre es importante en las operaciones de sedimentación. Las fuerzas actuantes sobre las partículas sedimentadas son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas. En los tanques de sedimentación, las velocidades horizontales se deben mantener a niveles bajos, de modo que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque. La velocidad crítica viene dada por la siguiente ecuación desarrollada por Camp, a partir de estudios realizados por Shields (1936)

---

Ec:18

Dónde:

- ❖  $V_h$  = velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de partículas (m/s)
- ❖  $k$  = constante que depende del tipo de material arrastrado.

- ❖ S= peso específico de las partículas.
- ❖ g= aceleración de la gravedad.
- ❖ d= diámetro de las partículas.
- ❖ f= factor de fricción de Darcy- Weisbach.

Los valores más comunes de k son 0.04 para arena unigranular, 0.06 para materia más agregada. El factor de Darcy- Weisbach depende de las características de la superficie sobre la que tiene lugar el flujo del número de Reynolds, sus valores típicos están entre 0.02 y 0.03. Tanto k y f, son constantes adimensionales.

Esta velocidad de arrastre se compara con la velocidad horizontal, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$V_h = \frac{Q}{A}$$

Ec:19

Dónde:

- ❖ V<sub>h</sub>= velocidad horizontal (m/s)
- ❖ Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)
- ❖ A= área del sedimentador rectangular (m<sup>2</sup>)

**Dimensionamiento común de un sistema de tratamiento de aguas.-** El tamaño adecuado de las instalaciones en las plantas de tratamiento de aguas residuales cumple un papel muy importante:



- Grandes depósitos de regulación de caudal garantizan un funcionamiento de la planta en forma continua, incluso durante el periodo de cierre de la planta durante las vacaciones.
- Un volumen suficientemente grande de piletas de aireación además de un abastecimiento adecuado de oxígeno evitan que se produzcan olores y al mismo tiempo, reducen la cantidad de lodos.
- Estanques de afinamiento (clarificadores) suficientemente grandes garantizan la seguridad del funcionamiento, incluso cuando hay mayor índice de lodos, una fuerte carga de aguas de lluvia , etc.
- No se recomienda diseñar las plantas para valores de DQO<sub>5</sub> superiores a 25 mg/l en la salida, debido a que cuando el proceso de degradación no se lleva a estas concentraciones de DQO<sub>5</sub> se produce una degradación biológica inestable, además de emisiones de olores y una nitrificación insuficiente. Asimismo, se pueden producir lodos excedentes que no están lo suficientemente estabilizados, lo que puede presentar problemas en su posterior deshidratación.
- El tiempo de residencia o edad de los lodos debería ser superior a los 20 días, para asegurar la composición adecuada de bacterias y la estabilidad del lodo excedente.

#### **1.2.11.- LA AUTODEPURACIÓN.**

Es la serie de procesos físicos, químicos y biológicos que hacen que la corriente de agua tienda a volver a un estado similar al anterior a la contaminación, como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica contaminante.

Los procesos físicos son esencialmente sedimentaciones y efectos producidos por la radiación solar.

Los procesos químicos y biológicos son más complejos y consisten en resumen en la ingestión de la materia orgánica por los organismos vivos, que a su vez producen desechos que vuelven a servir de alimento para otros organismos. Así continua un proceso que finaliza con la transformación de sales inorgánicas estables, que sirven de alimento a otras formas biológicas, como las algas. El metabolismo y desarrollo de estas, da lugar a la producción de oxígeno que enriquece el agua y da lugar a la autodepuración. Esta depende del tiempo, la temperatura, el contenido de oxígeno y otra serie de factores ambientales que regulan los procesos biológicos, teniendo lugar en cuatro fases que se corresponden con distintos tramos de la corriente de agua:

**Degradación.** Su zona es la situada inmediatamente tras el vertido, estando caracterizada por la presencia de materia flotante y en suspensión, enturbiando las aguas y reduciendo o haciendo desaparecer el oxígeno disuelto con lo que habrá una casi desaparición de los seres vivos.

**Descomposición.** Situada tras la zona anterior, se caracteriza por el desarrollo de procesos anaerobios debido a la ausencia de oxígeno disuelto. Las aguas toman un color negruzco, se producen olores desagradables la flora y la fauna desaparecen en su totalidad.

**Recuperación.** El agua se va clarificando al ir desapareciendo los sólidos orgánicos, apareciendo de nuevo el oxígeno disuelto se encuentra en niveles muy elevados por lo que se presenta una elevada concentración de algas y organismos macroscópicos.

**Depuración.** Es la zona final del proceso. En ella, el agua presenta un aspecto limpio aun cuando permanecen solidos inorgánicos estables, sin flotantes ni sólidos en suspensión. El oxígeno disuelto se encuentra en niveles muy elevados por lo que se presenta una elevada concentración de algas y organismos macroscópicos.

Sin embargo, a lo largo de todo este proceso, las bacterias patógenas, los metales pesados y otras sustancias de naturaleza no orgánica permanecen en el agua sin ser alteradas por los procesos biológicos, quedándose como contaminación residual.

Necesidades nutritivas para el crecimiento microbiano: Los microorganismos para desarrollarse y funcionar necesitan de fuentes de energía como alimentos constituidos por carbono que sirven para la síntesis de la materia celular de la materia nueva y elementos inorgánicos llamados nutrientes tales como nitrógeno, fosforo, azufre, potasio, calcio, hierro, sodio y cloro. Estos también pueden ser necesarios para la síntesis celular.

Algunos microorganismos suelen necesitar nutrientes orgánicos llamados factores de crecimiento que son utilizados para la síntesis de la materia celular, estos se clasifican en cuatro clases: Aminoácidos, Vitaminas, Pirimidinas y Purinas.

#### **1.2.12.-LAGUNAS (ESTANQUES) DE ESTABILIZACIÓN U OXIDACIÓN**

Un estanque o laguna de estabilización es el método más simple de tratamiento de aguas residuales, consiste en una excavación en el terreno, cuya profundidad depende de que funcione aerobia, anaerobia o facultativamente. Generalmente tienen forma rectangular o

cuadrada. En todos los casos las bacterias son las encargadas de la oxidación de la materia orgánica.

El tratamiento a través de lagunas tiene tres objetivos:

- ❖ Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
- ❖ Eliminar los microorganismos patógenos que representan un peligro para la salud.
- ❖ Utilizar su efluente para reutilización, por ejemplo en la agricultura.

Las principales ventajas de los sistemas de lagunas de estabilización son:

- Bajo costo.
- Necesitan poco o ningún componente importado.
- Nulo consumo energético.
- Simples de construir y de operar.
- Confiables y fáciles de mantener.
- Pueden absorber aumentos bruscos de cargas hidráulicas u orgánicas.
- Posibilidad de tratar vertimientos industriales fácilmente biodegradables (mataderos, lecherías, etc)
- Elevada estabilización de la materia orgánica.
- Producen un efluente de alta calidad, con excelente reducción de microorganismos patógenos.

La gran desventaja de las lagunas y del sistema radica en la gran extensión de terreno que necesitan, como se indica en el gráfico 7

**Gráfico 7.- Laguna de Oxidación**



Fuente:estabilización-laguna/com

#### **1.2.12.1.- FACTORES FÍSICO - QUÍMICOS Y MICROBIOLOGICOS QUE INTERVIENEN EN LAS LAGUNAS**

Existen varios factores que afectan las condiciones hidráulicas y biológicas de las lagunas de estabilización. Algunos de esos factores pueden tenerse en cuenta para elaborar un proyecto y otros factores que no son controlables por el hombre: fenómenos meteorológicos, como vientos, temperatura, precipitaciones pluviales, radiación solar y evaporación. Además pueden considerarse las variaciones locales como infiltración y características de las aguas residuales que recibirán el tratamiento. Estos factores deben tenerse en cuenta para poder minimizar sus efectos.

##### **1.2.12.1.1.- FENÓMENOS NATURALES NO CONTROLABLES**

###### **Acción de los vientos.**

La acción de los vientos es útil cuando es posible la homogenización de la masa líquida, llevando oxígeno de la superficie a las capas más profundas, haciendo que el afluente y los

microorganismos, se dispersen en toda la extensión de esa masa. Auxilian el movimiento de las algas. Cuando la fotosíntesis no sea suficiente por existir déficit de oxígeno, el viento puede contribuir a la transferencia y difusión de oxígeno de la atmósfera hacia la masa líquida.

“Si es posible, las lagunas deben construirse en lugares donde la acción de los vientos dominantes no esté en dirección de las viviendas. Las lagunas anaerobias, las cuales pueden expedir malos olores, como medida de precaución, deben construirse por lo menos a 500 o 1000 metros de la comunidad. Los dispositivos de entrada y salida de las lagunas deben estar localizados de modo que la dirección de los vientos predominantes ocurra del efluente hacia el afluente, para evitar la formación de cortocircuitos en las lagunas y la salida de sobrenadantes en el efluente”<sup>8</sup>.

### **Temperatura**

Afecta a las reacciones químicas, físicas y bioquímicas que existen en las lagunas de estabilización. Se relaciona con la radiación y afectan tanto a la velocidad de la fotosíntesis como la del metabolismo de las bacterias responsables de la depuración de las aguas, esos fenómenos son retardados por las bajas temperaturas. Por eso, el proyecto de las lagunas debe tener en cuenta siempre las condiciones de temperatura más adversa.

---

<sup>8</sup>BARRIONUEVO. GUADALUPE. M. “Diseño de la planta de tratamiento para las aguas servidas de la ciudad de Chambo” Pp 64.

“Una caída de 10°C en la temperatura reducirá la actividad microbiológica aproximadamente en el 50%. Aumenta la actividad cerca de 4 veces por cada cinco grados de elevación de temperatura”<sup>9</sup>

### **Precipitaciones pluviales**

El tiempo de detención podrá reducirse durante periodos de lluvia, lluvias intensas pueden diluir el contenido de las lagunas poco profundas, afectando el alimento disponible para la biomasa. Para contener inundaciones, las lagunas deben estar dotadas de zanjas desviadoras de aguas lluvia, que deberán mantenerse limpias y bien conservadas.

### **Radiación solar**

Es indispensable la radiación solar para la operación efectiva de las lagunas facultativas. Otro factor significativo es la temperatura atmosférica. Las nubes y la nubosidad reduce la luz disponible en alguna medida, la luz directa no es esencial.

### **Evaporación**

La evaporación combinada con la infiltración a través de una laguna con un fondo permeable determina la reducción del caudal afluente, y en casos extremos puede hacer que el caudal del efluente sea nulo.

La evaporación es una pérdida de agua que ocasiona una mayor concentración de sustancias contaminantes, aumentando la salinidad del medio, la evaporación esta íntimamente ligada a

---

<sup>9</sup>BARRIONUEVO. GUADALUPE. M. “Diseño de la planta de tratamiento para las aguas servidas de la ciudad de Chambo” Pp 66

las condiciones climáticas locales dependiendo principalmente de los vientos, del grado de humedad del aire y de la temperatura del aire y del agua.

“La evaporación combinada con la infiltración a través de una laguna con un fondo permeable determina la reducción del caudal afluente”<sup>10</sup>.

#### **1.2.12.1.2.- FACTORES FÍSICOS**

Los factores físicos generalmente relacionados con el proyecto de las lagunas de estabilización, pudiendo ser controlados por el proyectista como son:

- Área superficial.
- Altura del líquido
- Mezcla.

#### **1.2.12.1.3.- FACTORES QUÍMICOS**

##### **Valor del pH**

Tanto las lagunas anaerobias como las facultativas son operadas en forma eficiente con valores del pH ligeramente alcalino. Los desechos líquidos industriales con valores extremos de pH tendrán que pasar por tanques de neutralización para corregir el pH, antes de entrar a la laguna.

---

<sup>10</sup>I BARRIONUEVO. GUADALUPE. M. “Diseño de la planta de tratamiento para las aguas servidas de la ciudad de Chambo” Pp 67



### **Materiales tóxicos**

Los metales pesados, pesticidas desinfectantes, sulfitos, desechos líquidos de industrias de antibióticos y otros residuos industriales contenidos en el afluente de las lagunas, deben eliminarse inicialmente. Las lagunas anaerobias son excelentes sistemas de tratamiento para la remoción de materiales pesados a través del proceso de sedimentación que ocurre naturalmente.

### **Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto (OD) es el mejor indicador de una operación satisfactoria en una laguna, la principal fuente de oxígeno disuelto, utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica y en sus funciones respiratorias proveniente del oxígeno producido por la acción fotosintética de las algas.

La capa superficial aerobia sirve para evitar que sean liberados gases mal oliente producido por la capa anaerobia.

#### **1.2.12.1.4.- FACTORES MICROBIOLÓGICOS**

Tanto las bacterias como las algas necesitan de nutrientes para crecer y multiplicarse. Los elementos que requieren en mayor cantidad son el carbono, el nitrógeno y el fósforo.

#### **1.2.13.-PARTES CONSTITUTIVAS DE LAS LAGUNAS**

Las partes constitutivas de una laguna de estabilización pueden relacionarse como:

- Canales o tuberías de interconexiones.
- Dispositivos para la medición de caudales.

- Lagunas de estabilización propiamente dichas.

Las tuberías, canales o emisarios que transportan las aguas residuales hasta las lagunas o de sus efluentes se proyectan como conductos libres. Debe mantenerse en esos conductos velocidades mínimas de 0.5m/s, con la finalidad de evitar depósitos y acumulación de sólidos suspendidos en los mismos. El diámetro mínimo recomendable para estas tuberías es de 200mm.

Debe efectuarse la impermeabilización del fondo de la laguna, cuando el suelo presenta en su composición menos de 15% de arcilla, tierra violácea o tierra natural. Puede hacerse, utilizando arcilla compactada, revestimiento asfáltico o tela de polietileno. En suelos permeables existe una reducción progresiva de la tasa de permeabilidad, por medio de la colmatación, impidiendo la infiltración total, alrededor de los seis meses.

#### **1.2.13.1.- DESINFECCIÓN**

Su esencia radica en la eliminación selectiva de los organismos que causan enfermedades y que pueden estar presentes en las aguas de las fuentes de abasto y en las aguas residuales y efluentes de sistemas de tratamiento de las mismas. No todos los organismos resultan ser eliminados en el proceso de desinfección, esto establece diferencia entre esta y la esterilización. Aun después de los procesos descritos anteriormente, particularmente el de filtración con arena, quedan algunos géneros y especies de microorganismos en el agua, que transmiten enfermedades, particularmente, bacterias, virus, quistes amebianos y de otros protozoarios.

“existen desinfectantes de orígenes tan variados como químicos, físicos, mecánicos y la radiación. Se puede plantear con certeza que la cloración del agua de abasto, residual o efluente, elimina o destruye el 98-99% de las bacterias presentes”<sup>11</sup>.

**Agentes Químicos.-** Los más utilizados son:

- El cloro y sus compuestos.
- El bromo.
- El yodo.
- El ozono.
- El fenol y sus compuestos fenólicos.
- Los alcoholes.
- Los metales pesados y compuestos a fines.
- Los colorantes.
- Los jabones.
- Los compuestos amoniacales cuaternarios.
- El agua oxigenada.
- Los ácidos y álcalis diversos.

Los desinfectantes más comunes son los productos químicos oxidantes como el cloro, bromo y yodo, el ozono es muy eficaz, pero no deja una concentración residual que permita valorar su presencia después del tratamiento.

---

<sup>11</sup>BARRIONUEVO. GUADALUPE. M. “Diseño de la planta de tratamiento para las aguas servidas de la ciudad de chambo” Pp 69

**Agentes Físicos.-** Los que se pueden emplear son la luz y el calor. La aplicación del calor para tratar el agua residual tiene un alto coste, sin embargo la pasteurización del fango es una práctica habitual en Europa. La luz solar también es un buen desinfectante especialmente la radiación ultravioleta, la eficacia de este proceso depende de la penetración de los rayos en el agua.

**Medios Mecánicos.-** Los medios mecánicos empleados en el tratamiento de aguas residuales como tamices, desarenado res, filtros, etc. Ayudan a la eliminación de bacterias.

**Radiación.-** Los principales tipos de radiación son la electromagnética, la acústica y la radiación de partículas. Los rayos gamma se utilizan para la desinfección (esterilización) del agua potable y del agua residual debido a su gran poder de penetración, se emite a partir de elementos radioisótopos como el cobalto 60.

Es importante que los desinfectantes sean seguros en su aplicación y manejo, y que su fuerza y concentración en las aguas tratadas sea medible y cuantificable.

#### **1.2.14.- MANEJO Y ADICIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS**

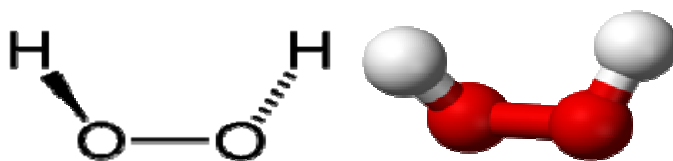
Los problemas asociados al aporte de reactivos químicos y su manipulación son importantes a lo largo de todo el tratamiento. El asunto se tratara en relación a las necesidades de cada unidad de proceso individual.

Un concepto importante en el análisis de los requisitos de la manipulación química es si la sustancia química considerada permite que pueda interrumpirse su aplicación. Aquellos materiales utilizados para el control de la corrosión, del olor y el sabor y los criterios menos rigurosos al espacio de almacenamiento y al equipo para su manipulación. Por otra parte,

sustancias como los coagulantes y el cloro no deben ser interrumpidos en su aplicación en ninguna circunstancia. Para estas sustancias es necesario un espacio adecuado de almacenamiento, instalaciones para su manipulación y provisiones auxiliares de instalaciones de repuesto adecuadas para su alimentación.

#### 1.2.14.1.- PERÓXIDO DE HIDROGENO.

**Gráfico 8.- Forma Molecular del peróxido de hidrogeno**



Fuente: peroxi@2411.com

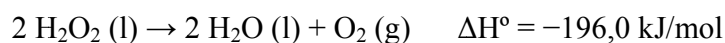
#### **Propiedades fisicoquímicas**

El peróxido de hidrógeno puro ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) representado en la figura 3, es un líquido denso y claro, con una densidad de  $1,47 \text{ g/cm}^3$  a  $0^\circ\text{C}$ . El punto de fusión es de  $-0,4^\circ\text{C}$ , y su punto de ebullición normal es de  $150^\circ\text{C}$

## Estereoquímica

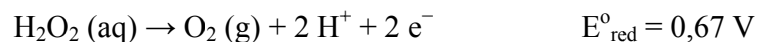
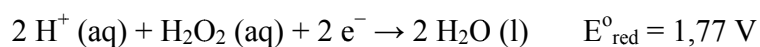
De manera similar a la del agua, el peróxido de hidrógeno presenta un eje de simetría  $C_2$  (eje rotado a  $180^\circ$ ), y además presenta tres conformaciones cis-planar (grupo de simetría  $C_{2v}$ ), cis-no planar (grupo de simetría  $C_2$ ) y trans-planar (grupo de simetría  $C_{2h}$ ).

**Reactividad.**-El peróxido de hidrógeno concentrado es una sustancia peligrosamente reactiva, debido a que su descomposición para formar agua y oxígeno es sumamente exotérmica. La siguiente reacción termoquímica demuestra ese hecho:



## Cometido como agente oxidante y reductor

El peróxido de hidrógeno es capaz de actuar ya sea como agente oxidante o como reductor. Las ecuaciones que se muestran a continuación presentan las semirreacciones en medio ácido:



En solución básica, los potenciales correspondientes al electrodo estándar, son de 0,87 V para la reducción del peróxido de hidrógeno y de 0,08 V para su oxidación.

## Obtención

Antiguamente el agua oxigenada era preparada por electrolisis de una solución acuosa de ácido sulfúrico o ácido de bisulfato de amonio ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ), seguida por la hidrólisis del peroxodisulfato ( $\text{SO}_4$ )<sub>2</sub>). En la actualidad el peróxido de hidrógeno se obtiene casi exclusivamente por la autooxidación de un 2-alcohol-antrahidroquinona (o 2-alco-9-10-dihidroxiantraceno) al correspondiente 2-alco antraquinona en un proceso llamado 'proceso antraquinona.

### 1.2.14.1.- Hidroxicloruro de Aluminio

El Hidroxicloruro de Aluminio (incorrectamente nombrado como policloruro de aluminio, abreviado generalmente como PAC) es el resultado de un proceso de fabricación complejo bajo condiciones de trabajo controladas. Su abreviación es PACl según la norma ANSI/AWWA B408-10.

Denominaciones: Hidroxicloruro de Aluminio, policloruro de aluminio o Polihidroxicloruro de aluminio (incorrectos, usados por costumbre). Otras menos frecuentes: cloruro de polialuminio, cloruro de aluminio polibásico, cloruro básicos de aluminio, clorhidróxido de aluminio, oxicloruro de aluminio

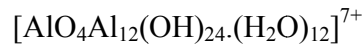
#### Composición

El PACl es una sal básica del cloruro de aluminio, un polímero de hidroxicloruro de aluminio con fórmula:



Donde  $0 < m < 3n$ .

Es esencialmente un polímero inorgánico catiónico.



En solución, y dependiendo del proceso empleado, tiene un contenido en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 10 a 23 g/100 g.

Sólido, puede alcanzar un contenido de 44 g/100 g de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

El contenido de basicidad puede ir desde el 10 al 83%.

### Usos

- ❖ Es usado como coagulante en el proceso de potabilización de las aguas para consumo humano, en el tratamiento de aguas residuales, en la industria del papel, en la industria del cuero entre otros.
- ❖ Es un producto corrosivo, por eso se almacena en tanques de PRFV.
- ❖ Está alistado como coagulantes provenientes de sales de aluminio junto con el tradicional sulfato de aluminio. Sin embargo, tiene algunas ventajas frente a este: Bajo ciertas condiciones puede presentar menor gasto de coagulante (especialmente a altas turbiedades).
- ❖ Disminuye el carbono orgánico total (TOC).
- ❖ Menor consumo de álcalis.



- ❖ Efectividad en un amplio rango de pH.
- ❖ Igual rendimiento con distintas temperaturas.
- ❖ Remoción de color (al igual como ocurre con el sulfato de aluminio depende del tipo de color presente en el agua).

Debe considerarse que estas ventajas dependen del tipo de agua a tratar y condiciones de turbiedad presentes. La elección de cualquier coagulante dependerá principalmente de los resultados del ensayo de jarras y una evaluación económica de las opciones de productos coagulantes disponibles.

### **Fabricación**

La materia prima para su fabricación es cualquier fuente de aluminio (como hidróxido de aluminio) y ácido clorhídrico. Ambos productos son colocados en el reactor químico y mantenidos a determinadas temperaturas y presiones mientras son agitados, produciendo el PAC al cabo de cierto tiempo. Las características tecnológicas de cada fabricante pueden variar.

Generalmente el producto resultante, es sometido a un filtro de bandas y luego almacenado para su uso. Algunos fabricantes ofrecen diferentes tipos de PAC según sea su contenido de óxidos útiles o su basicidad.

Las alternativas a usar hidróxido de aluminio es usar bauxita natural o gipsita.

Puede también ser fabricado en reactores atmosféricos con lingotes de aluminio sólidos y ácido clorhídrico, la reacción se caracteriza por ser exotérmica y su temperatura de reacción

ideal se encuentra cerca de los 98 °C, por lo cual es necesario ir agregando agua hasta obtener la densidad deseada

### **Métodos de Análisis.**

- ❖ Norma IRAM 41106:2004
- ❖ Norma Mexicana NMX-AA-130-SCFI-2006.
- ❖ Norma Española UNE- EN 883:2005.
- ❖ European Standard EN EN 883:1997.

Se ha observado que el pH es la variable independiente más importante de entre las muchas a considerar en el proceso de la coagulación de coloides, asimismo, se ha establecido que existe al menos una escala de pH, para un agua dada, dentro de la cual se registra una buena coagulación - floculación en el tiempo más corto. La amplitud de la escala del pH está influenciada por:

- ❖ El tipo de coagulante empleado.
- ❖ La composición química del agua.
- ❖ La dosis del coagulante.

Los coagulantes metálicos (sales de aluminio y hierro) presentan su zona óptima tras los valores del pH que hacen mínima la solubilidad de los productos de hidrólisis. Así, para las sales de aluminio esta zona se sitúa entre 6 y 7,8. Las sales de hierro tienen un comportamiento similar, aunque en este caso, la zona del pH de coagulación puede ser más alta.

### **1.2.15.- REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL**

Es importante distinguir cuidadosamente entre la reutilización para propósitos no potables y potables. La reutilización no potable está más extendida que la potable ya que las demandas para el uso de la no potable exceden a los requisitos de las potables. También, los riesgos para la salud pública son menos significativos para los usos de la no potable. Es importante destacar que la reutilización directa no potable ya se practica ampliamente.

El agua residual puede reutilizarse para varios propósitos como pueden ser los usos industriales, agrícolas y los servicios recreativos. El interés por reutilizar el agua residual aumenta, cada vez mas sobre todo en las comunidades y organizaciones que investigan su potencial. Los usos del agua reutilizada variaran según las condiciones locales.

Cualquier comunidad que esté considerando la reutilización tendrá que evaluar totalmente los problemas y las posibilidades del lugar. La reutilización potable puede lograrse mediante cualquiera de las tres maneras siguientes:

- Reutilización directa o potable mediante la reintroducción directa del efluente del alcantarillado, perfectamente tratado en su planta de tratamiento, al sistema de distribución de agua potable existente. Esta es la definición clásica de reutilización \*de tubería a tubería\*.
- Reutilización indirecta planificada que implica una determinada introducción de agua residual debidamente tratada, corriente arriba, en la toma del suministro del agua.

- Recarga del agua subterránea lo que implica bien la inyección del efluente dentro del acuífero que es la fuente de suministro potable, o bien la dispersión del efluente en el suelo, lo que permite su filtración hacia el acuífero. En cada uno de estos métodos, el agua residual renovada alcanza el grifo de agua de una vivienda.

#### **1.2.16.- NORMATIVA**

Los objetivos principales de las normas son: proteger, preservar, conservar y mejorar la calidad de las fuentes de suministro de agua a la población, los cuerpos naturales y artificiales, tanto superficiales como subterráneas.

Específicamente, establecen los requisitos que deben cumplir las personas físicas o jurídicas responsables de descargas de aguas residuales a los cuerpos hídricos receptores.

La normativa es:

- ❖ Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 108: 2010 Requisitos, agua potable.
- ❖ AAMI Estándares: APHA normativa establecida a fines y necesidad, calidad del agua.

## **CAPITULO II**

### **2.- PARTE EXPERIMENTAL**

#### **2.1.- LOCALIZACIÓN**

El Muestreo. Se realizó en la clínica de los riñones Menydial, en el cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo.

Las pruebas de caracterización en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ubicado en el cantón Riobamba

#### **2.2- TIPO DE MUESTREO**

El tipo de muestreo a utilizar en el presente trabajo de investigación es por el método al Azar Simple, para la toma de muestras (antes, durante y después) del proceso de hemodiálisis y realizar las respectivas caracterizaciones y también (antes y después) del tratamiento para normar su debida reutilización.

#### **2.3.- FRECUENCIA Y NUMERO DE MUESTRAS**

El muestreo tuvo una duración de 1 semana. Específicamente se tomó la primera muestra del agua de cisterna, la segunda del agua tratada por osmosis inversa y la última durante el proceso de hemodiálisis en su descarga, estas muestras se mantuvieron en refrigeración hasta el momento de llevarlas al laboratorio.

Este procedimiento se realizó una sola vez, debido a que el proceso de hemodiálisis y condiciones físico – químicas permanecen prácticamente invariables durante el transcurso del día.

## **2.4.-CARACTERIZACION FÍSICO- QUÍMICA DEL AGUA.**

### **Equipos y materiales:**

- 3 envases plásticos de 1 litro de capacidad (uno por cada tipo de muestreo).
- Mascarilla.
- Guantes.
- Etiquetas.
- Un marcador permanente.

### **Procedimiento:**

Etiquetar cada envase y registrar los siguientes datos:

- Nombre del punto de muestreo.
- Hora de toma de la muestra.
- Temperatura.

Para la caracterización del agua, se tomaron 3 muestras en una semana siendo obtenidas antes del proceso, durante y después del mismo; previamente homogenizando los envases con el tipo de agua que se va a muestrear.

La primera muestra nos permitirá determinar las propiedades físico-químicas del agua potable del cantón Riobamba, que es captada en la clínica, esto nos ayudara a diagnosticar las condiciones iniciales del agua.

Posteriormente la segunda muestra obtenida del agua tratada por osmosis inversa nos permitirá determinar sus propiedades físico-químicas, obteniendo resultados de la eficiencia de la planta de tratamiento.

La tercera muestra será caracterizada para determinar la cantidad de materia orgánica e inorgánica que se encuentra presente durante el proceso de hemodiálisis, estos resultados nos brindaran una perspectiva para el diseño y tratamiento más adecuado.

Y con la caracterización final se podrá determinar la cantidad total de contaminantes presentes en el agua residual después de la realización de todo el proceso médico, sus resultados nos permitirá comparar la variación existente con los resultados de la caracterización anterior. Adicionando todos los parámetros necesarios para poder medir la efectividad del sistema de tratamiento, estos resultados nos permitirán modificar el sistema si es necesario o desarrollar al máximo su capacidad de funcionamiento.

## **2.5.- MEDICIÓN DEL CAUDAL**

Para la determinación del caudal del agua residual vertida por paciente vamos a tomar en cuenta el tiempo de residencia del paciente de 4 horas y el caudal del agua que ingresa al dializador durante el proceso es de  $5^{-04} \text{ m}^3$  por minuto.

Transformando los datos:

$$4 \text{ horas} = 14400 \text{ s}$$

$$5^{-04} \text{ m}^3 \text{ por minuto} = 8.33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

**Caudal por sesión de hemodiálisis:**

$$Qp = Tr * Qe$$

Ec.20

Dónde:

$Qp$  = caudal por paciente.

- ❖  $Tr$  = tiempo de residencia.
- ❖  $Qe$  =caudal de ingreso al dializador.

Remplazandotenemos:

$$Qp = Tr * Qe$$

$$Qp = 14400s * 8.33 * 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Qp = 0.12 \text{ m}^3/\text{p}$$

**Caudal total diario de consumo en el proceso de hemodiálisis:**

$$Qt = Qp * \#p$$

Ec.21



Dónde:

- ❖  $Qt$  = Caudal total diario.
- ❖  $Qp$  = Caudal por paciente.
- ❖  $\#p$  = Número de pacientes.

Remplazando:

$$Qt = Qp * \#p$$

$$Qt = 0.12 \text{ m}^3 * 45$$

$$Qt = 5.4 \text{ m}^3/\text{d}$$

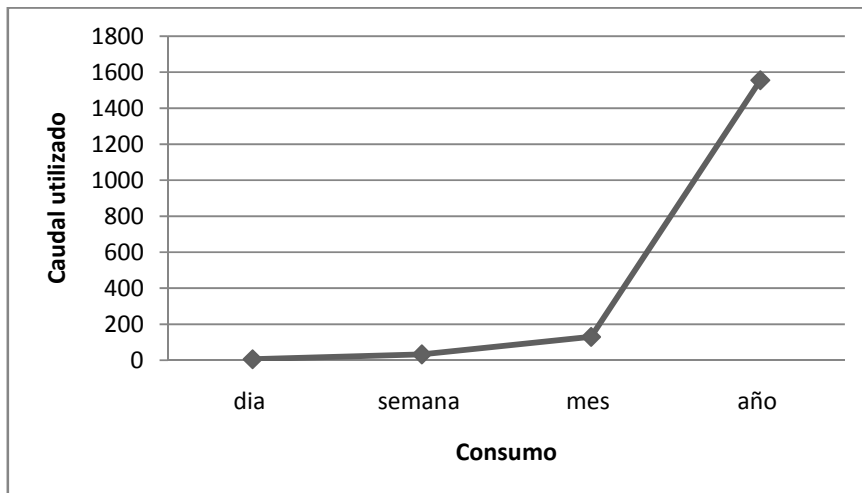
Considerando 5.4 m<sup>3</sup> de agua representativos diariamente, 6 días laborables a la semana y uno de descanso en la clínica. Con estos datos deben determinarse el caudal máximo del agua residual del proceso que es descargado para ser tratado. Detallado en la tabla 5

**Tabla 5.- Caudales y días laborables de la clínica de los riñones Menydial, Riobamba**

<b>Días laborables</b>	<b>Caudal m<sup>3</sup></b>
Día	5.4
Semana	32.4
Mes	129.6
Año	1555.2

Fuente: Antonio Latorre

**Gráfico 9.- Caudales y días laborables de la clínica Menydia**



Fuente: Antonio Latorre.

## **2.6.-MÉTODOS Y TÉCNICAS**

### **2.6.1.-MÉTODOS**

En el presente proyecto de investigación se aplicara el método experimental , utilizando como procesos lógicos la inducción y la deducción ya que es necesario conocer las hechos importantes que se dan en el sistema de tratamiento de aguas residuales , es decir las variables que se presentan en el sistema para llegar a un tratamiento de aguas residuales adecuado.

#### **2.6.1.1.-EXPERIMENTAL**

Este método analizara el agua residual vertida por el proceso, para luego ser diseñado un sistema de tratamiento óptimo.

- ❖ La formulación de la hipótesis es diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales, previo a un análisis actual de la cantidad y calidad de los contaminantes presentes, modificando sus concentraciones para que esta pueda ser reutilizada en el mismo proceso o a fines.
- ❖ La validación del diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

#### **2.6.1.2.-DEDUCTIVO**

Es el método que parte de datos generales aceptados como válidos, para llegar a una conclusión de tipo particular.

- ❖ La aplicación del presente será realizada en la clínica de los Riñones Menydial , para diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales, vertidas por el proceso de hemodiálisis.
- ❖ El manejo del tema es evidente para encontrar las diferentes fases del proceso donde se pueda centrar el estudio de diseño.

#### **2.6.1.3.-INDUCTIVO**

Es el método que parte de casos particulares para llegar a conclusiones generales, va de lo individual a lo universal.

- ❖ La observación se realizara con el diagnostico técnico actualizado de la cantidad y calidad de contaminantes presentes en las aguas residuales.
- ❖ El planteamiento del sistema de tratamiento de las aguas residuales

## **2.6.2.-TÉCNICAS**

### **2.6.2.1.-PARA EL ANÁLISIS DEL AGUA**

#### **Determinación:**

- Toma de muestras

#### **Parametros del analisis:**

**Tabla 6.- Parámetros de análisis**

Ph.	NTE INEN 1 108	APHA 4500-H
Conductividad	NTE INEN 1 108	APHA 2510-C
Turbiedad	NTE INEN 1 108	APHA 2130-B
Cloruros	NTE INEN 1 108	APHA 4500-CL-B
Dureza	NTE INEN 1 108	APHA 2340-C
Calcio	NTE INEN 1 108	APHA 3500-Ca-B
Magnesio	NTE INEN 1 108	APHA 3500-Mg-B
Alcalinidad	NTE INEN 1 108	--
Bicarbonatos	NTE INEN 1 108	--
Amonios	NTE INEN 1 108	--
Hierro	NTE INEN 1 108	APHA 3500-Fe-B
Fosfatos	NTE INEN 1 108	APHA 4500-P-E
Solidostotales	NTE INEN 1 108	APHA 2540-C

## **2.7.- MÉTODOS DE ANÁLISIS**

En el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias se utilizan métodos cuantitativos de análisis que abarcan determinaciones gravimétricas, volumétricas e instrumentales que se usan para el análisis de aguas residuales industriales y también para aguas limpias. La diferencia radica en el manejo de la muestra, en muestras de aguas residuales es necesario realizar diluciones o filtrar la muestra.

### **2.7.1.- MÉTODOS DE DETERMINACIÓN**

#### **2.7.1.1.- MÉTODO 5210-B: DETERMINACIÓN DE DBO**

Se fundamenta en la determinación de DBO, se utiliza como materiales un frasco de DBO (winkler) de 250-300 cm<sup>3</sup> de capacidad, incubadora de aire con control termostático a 20+/- 1 °C, añadiendo los siguientes reactivos: agua destilada, solución amortiguadora de fosfato, solución de sulfato de magnesio, solución de cloruro de calcio, solución de cloruro férrico, solución de ácido sulfúrico 1N, solución de hidróxido de sodio, solución de sulfito de sodio 0.025 N e inóculo.

El procedimiento a utilizar es la norma técnica INEN 1202 Aguas, DBO<sub>5</sub>

#### **2.7.1.2.- MÉTODO 5220-C: DETERMINACIÓN DE DQO**

Se fundamenta en la determinación de DQO, se utiliza como materiales el equipo de reflujo y una placa calentadora, añadiendo los siguientes reactivos: solución de bicromato de potasio, ácido sulfúrico, solución titulante de sulfato ferroso y amonio, solución indicadora

de ferro rin, sulfato de plata, sulfato de mercurio, ácido sulfámico, solución patrón de ftalato ácido potasio.

El procedimiento a utilizar es la norma técnica INEN 1203 Aguas, DQO.

#### **2.7.1.3.- MÉTODO 4500-B: DETERMINACIÓN DE Ph**

Se fundamenta en la determinación del Ph, se utiliza como materiales el potenciómetro, piseta, vaso de precipitación, añadiendo los siguientes reactivos: solución tampón de Ph 4, Ph 7 y Ph 9, con agua destilada.

El procedimiento a utilizar es la norma técnica INEN 973.

#### **2.7.1.4.- DETERMINACIÓN DE LA TURBIDEZ**

Se fundamenta en la determinación de la turbidez, se utiliza como materiales el turbidímetro y la piseta, añadiendo como reactivo el agua residual.

El procedimiento es colocar en la celda el agua obtenida en la prueba de jarras, colocar la celda en el turbidímetro y leer directamente el valor según la escala deseada ( 1,0-10,0-100,0-1000) NTU. Método normalizado para el análisis de aguas residuales y potables.

#### **2.7.1.5.- MÉTODO 2540-B: DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES**

Se fundamenta en la determinación de sólidos suspendidos totales, se utilizan como materiales: una capsula de porcelana, horno de secado, desecador, balanza de analítica de precisión, añadiendo los siguientes reactivos : agua residual.

El procedimiento es calentar la capsula limpia en la estufa de 103 a 105° durante una hora, elegir un volumen determinado de la muestra, transferirla a la capsula pesada previamente y

evaporándose hasta que se seque, después secar la muestra evaporada al menos durante una hora a 103-105° enfriar en el desecador y pesar y repetir el ciclo hasta que el peso sea constante.

## **2.8.- DATOS EXPERIMENTALES DE LOS ANÁLISIS**

### **2.8.1.-ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA POTABLE DE LA CISTERNA DE DISTRIBUCIÓN DE LA CLÍNICA MENYDIAL-RIOBAMBA.**

**Tabla 7.- Análisis de resultados del agua potable de distribución**

<b>Determinación</b>	<b>Unidades</b>	<b>Limites</b>	<b>Resultados</b>
Ph	Unid	6.5-8.5	6.62
Conductividad	μS/cm	<1250	334
Turbiedad	UNT	1	0.5
Cloruros	mg/l	250	17.0
Dureza	mg/l	200	88.0
Calcio	mg/l	70	32.0
Magnesio	mg/l	30-50	1.9
Alcalinidad	mg/l	250-300	160.0
Bicarbonatos	mg/l	250-300	163.2
Amonios	mg/l	0.5	0.02
Hierro	mg/l	0.30	0.064
Fosfatos	mg/l	<0.30	0.397
Solidos totales	mg/l	1000	544.0

Solidos disueltos	mg/l	500	207.1
-------------------	------	-----	-------

Fuente : Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

**Nota:** Todos los parámetros establecidos se encuentran dentro del rango lo q garantiza su uso y consumo.

## 2.8.2.- ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICO DEL AGUA TRATADA POR OSMOSIS INVERSA UTILIZADA EN EL PROCESO DE HEMODIALISIS.

**Tabla 8.- Análisis de resultados del agua tratada por osmosis inversa**

Determinación	Unidades	Limites	Resultados
Ph	Unid	6.5-8.5	4.89
Conductividad	µS/cm	<1250	7
Turbiedad	UNT	1	0.1
Cloruros	mg/l	250	8.5
Dureza	mg/l	200	0.0
Calcio	mg/l	70	0.0
Magnesio	mg/l	30-50	0.0
Alcalinidad	mg/l	250-300	25.0
Bicarbonatos	mg/l	250-300	25.5
Amonios	mg/l	0.5	0.02
Hierro	mg/l	0.30	0.025
Fosfatos	mg/l	<0.30	0.058
Solidos totales	mg/l	1000	60



Solidos disueltos	mg/l	500	4.3
-------------------	------	-----	-----

Fuente: Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

**Nota :** Todos los parámetros analizados cumplen con la normativa establecida por el Ministerio de Salud del Ecuador para el proceso de hemodiálisis.

### **2.8.3.-ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE HEMODIÁLISIS DE LA CLÍNICA DE LOS RIÑONES MENYDIAL-RIOBAMBA.**

**Tabla 9.- Análisis de resultados del agua residual del proceso**

<b>Determinación</b>	<b>Unidades</b>	<b>Limites</b>	<b>Resultados</b>
Ph	Unid	6.5-8.5	7.49
Conductividad	µS/cm	<1250	13410
Turbiedad	UNT	1	3.6
Cloruros	mg/l	250	4311.9
Dureza	mg/l	200	160.0
Calcio	mg/l	70	48.0
Magnesio	mg/l	30-50	9.7
Alcalinidad	mg/l	250-300	3200.0
Bicarbonatos	mg/l	250-300	3264.0
Amonios	mg/l	0.5	1.51
Hierro	mg/l	0.30	1.36
Fosfatos	mg/l	<0.30	1.517
Solidos totales	mg/l	1000	10656.0

Solidos disueltos	mg/l	500	8314.2
-------------------	------	-----	--------

Fuente: Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

**Nota:** La conductividad, turbiedad, cloruros, alcalinidad, bicarbonatos, amonios, hierro, fosfatos, solidos totales y solidos disueltos se encuentran fuera de rango. El diseño se realizara en base a estos parámetros.

#### **2.8.4.- ANÁLISIS DE DBO Y DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE HEMODIÁLISIS DE LA CLÍNICA DE LOS RIÑONES MENYDIAL-RIOBAMBA.**

**Tabla 10.- Análisis de resultados del agua residual del proceso**

<b>Determinaciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>	<b>Resultados</b>
DBO	mg/l	5210-B	1080.0
DQO	mg/l	5220-C	1540.0

Fuente: Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

**Nota:** Los límites establecidos para descarga los establece el TULAS en el libro VI en el Anexo I, para D.B.O5. con un límite permisible máximo de 250 mg/l y para el D.Q.O. con un límite permisible máximo de 500 mg/l

**Tabla 11.- Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria**

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>INTERVALO</b>	<b>TÍPICO</b>
Sedimentación primaria	~	~
• Tiempo de retención	1.5-2.5	2

<b>Carga de superficie, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>*día</b>	~	~
A caudal medio	30-50	40
A caudal de punta	80-120	100
• Carga sobre vertedero, m <sup>3</sup> /m*día	125-500	250
<b>Sedimentación primaria con adición del lodo activado en exceso:</b>	~	~
• Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
<b>Carga de superficie, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>*día</b>	~	~
A caudal medio	24-32	28
A caudal de punta	48-70	60
• Carga sobre vertedero, m <sup>3</sup> /m*día	125-500	250

Fuente :Metcalf& Eddy, 1996

**Tabla 12.- Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares primarios**

<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>INTERVALO</b>	<b>VALOR USUAL</b>
Profundidad	m	3-4.5	3.6
Longitud	m	15-90	25-40
Ancho	m	3-25	5-10
Velocidad del barredor	m	0.6-1.2	0.9

Fuente: Crites, Tchobanoglous, 2000

**Tabla 13.- Valores usuales de gradiente de velocidad (G) y tiempos de retención de los procesos de tratamiento de agua residual.**

<b>PROCESO</b>	<b>TIEMPO DE RETENCION</b>	<b>VALORES DE G, s<sup>-1</sup></b>
Mezcla : operaciones comunes en la mezcla rápida del agua residual	10-30s	500-1500
Mezcla : rápida para un contacto inicial y de reactivos químicos	≤1s	1500-6000
Mezcla : rápida de reactivos químicos en procesos de filtración por contacto	<1s	2500-7500
Floculación : procesos comunes de floculación empleados en el tratamiento de agua residual.	30-60min	50-100
Floculación en procesos de filtración directa	2-10min	25-150
Floculación en procesos de filtración por contacto	2-5min	25-200

Fuente :Crites, Tchobanoglous, 2000

**Tabla 14.- Coeficiente de rugosidad  $\eta$  de Manning**

<b>MATERIAL</b>	<b>N</b>	<b>RUGOSIDAD k(mm)</b>
<b>Canales Artificiales</b>		
Vidrio	0.010	0.3
Latón	0.011	0.6
Acero liso	0.012	1.0
Acero pintado	0.014	2.4
Acero ribeteado	0.015	3.7
Cemento pulido	0.012	1.6
Cemento no pulido	0.014	2.4
Madera cepillada	0.012	1.0
Teja de arcilla	0.014	2.4
Enladrillado	0.015	3.7
Asfáltico	0.016	5.4
Metal ondulado	0.022	37
Mampostería de casquetes	0.025	80
<b>CANALES EXCABADOS EN TIERRA</b>	<b>N</b>	<b>RUGOSIDAD k(mm)</b>
Limpio	0.022	37
Con guijarros	0.025	80

Con maleza	0.030	240
Pedregoso	0.035	500
<b>CANALES NATURALES</b>	<b>N</b>	<b>RUGOSIDAD k(mm)</b>
Limpios y rectos	0.030	240
Amplios y profundos	0.040	900
Grandes ríos	0.035	500
<b>ZONA INUNDADA</b>	<b>N</b>	<b>RUGOSIDAD k(mm)</b>
Terrenos de pastos	0.035	500
Poca maleza	0.050	2000
Mucha maleza	0.075	5000
Arboles	0.150	-----

Fuente :Crites, Tchobanoglous, 2000

**Tabla 15.- Valores de las constantes empíricas a y b**

<b>VARIABLE</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Fuente: Crites, Tchobanoglous, 2000

## CAPITULO III

### 3.- LINEA DE INVESTIGACIÓN

**Tabla 16.- Línea de investigación**

Sector	Área	Línea de Investigación
Recursos Naturales y Ambientales	Energía y Minería	Diseño de Sistemas de Tratamiento para desechos sólidos, líquidos y gases.

Fuente: Planificación de la investigación para la ESPOCH.2008

#### **3.1.- CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE HEMODIÁLISIS.**

En la clínica de los riñones Menydia se trabaja con 16 máquinas, destinadas a las operaciones de proceso, para el presente trabajo se ha normalizado los caudales de vertido de las máquinas en función del tiempo, por lo que el diseño está dimensionado a cantidades de agua utilizada durante cada sesión del proceso, realizado por 6 días a la semana en 4 turnos diarios establecidos.

Siendo este el mejor mecanismo para la determinación y control de dichos caudales.

##### **3.1.1.- CALCULO DEL SISTEMA**

De los datos obtenidos:

**Calculo de la velocidad del agua:** En base a la ecuación:

$$v = \frac{L}{t}$$

Dónde:

- ❖ v = velocidad del agua (m/s)
- ❖ L= longitud del tramo (m)
- ❖ t = tiempo (s)

Remplazando tenemos:

$$v = \frac{13m}{1000s}$$

$$v = 0.013m/s$$

**Calculo del área de la tubería de vertido:**

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

Dónde:

- ❖ A= área
- ❖  $\pi$  =constante
- ❖  $\phi$  = diámetro de la tubería



Remplazando tenemos:

$$A = \frac{3.16 * 0.01016m^2}{4}$$

$$A = 0.01605 m^2$$

**Calculo del caudal:** En base a la ecuación:

$$Q = C * v * A(d)$$

Dónde:

- ❖ Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)
- ❖ v= velocidad del agua (m/s)
- ❖ A= área de la sección( diámetro de la tubería)
- ❖ C= factor de corrección

Remplazando tenemos:

$$Q = C * v * A(d)$$

$$Q = 0.2 * 0.013m/s * 0.01605 m^2$$

$$Q = 4.17 * 10^{-05} m^3/s$$

**Calculo del caudal de diseño.-** Para calcular el caudal de diseño se emplea el factor de mayoración (FM) correspondiente al 30%.

$$Qd = Q * FM$$

$$Qd = 4.17 * 10^{-05} * 30\%$$

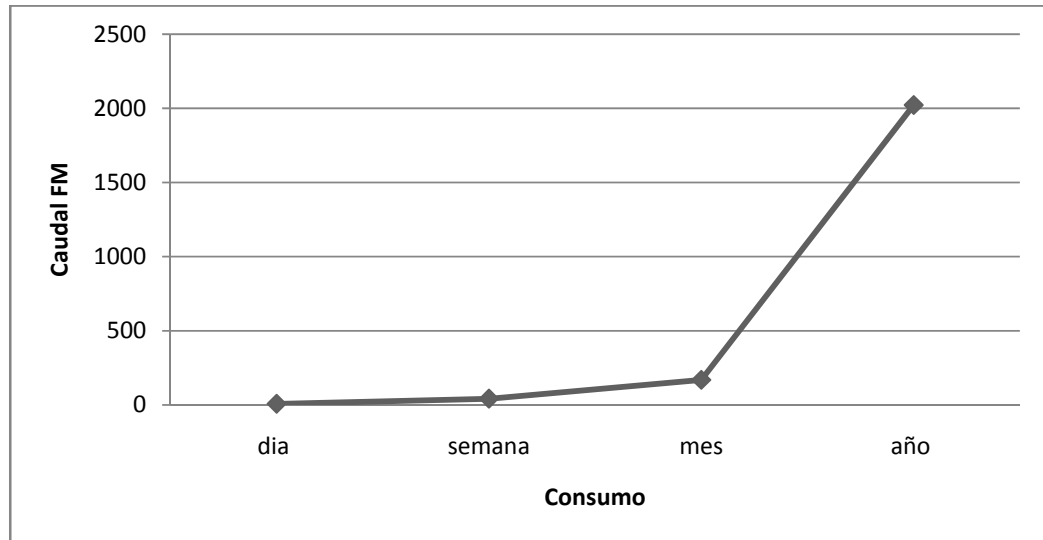
$$Qd = 0.0012519 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Tabla 17.- Caudales del proceso sumado el Factor de Mayorización**

<b>Días laborables</b>	<b>Caudal m<sup>3</sup></b>	<b>Caudal m<sup>3</sup> mas FM</b>
Día	5.4	7.02
Semana	32.4	42.12
Mes	129.6	168.48
Año	1555.2	2021.76

Fuente : Antonio Latorre

**Gráfico 10.- Caudales y días laborables de la clínica Menydial más FM**



Fuente: Antonio Latorre

**Calculo para el dimensionamiento del homogenizador.-** El volumen del depósito de homogenización, depende del caudal vertido y del régimen de trabajo. En general, se debe calcular un volumen al menos igual al caudal total vertido.

**Calculo del área del homogenizador:** La altura del tanque se considera por diseño de construcción de 2m.

$$A = \frac{Q * t}{h}$$

Dónde:

- ❖ Q=caudal m<sup>3</sup>/s
- ❖ t =tiempo de descarga(h)

❖  $h$  = altura (m)

Remplazando tenemos:

$$A = \frac{0.438m^3/h * 16h}{2m}$$

$$A = 3.51m^2$$

**Calculo del volumen del homogenizador:**

$$V = Ah$$

Dónde:

❖  $A$  = área ( $m^2$ )

❖  $h$  = altura (m)

Remplazando tenemos:

$$V = 3.51m^2 * 2m$$

$$V = 7.02m^3$$

Multiplicando el volumen por un factor de seguridad del 15%, se tiene:

$$V = 7.02m^3 * 15\%$$

$$V = 8.073m^3$$

**Calculo de la potencia de las paletas del homogenizador.-** A partir de la ecuación; y proponiendo una elevación de las mismas de 30cm de la superficie interna del mismo.

$$P = \gamma Qh$$

Dónde:

- ❖ P= potencia disipada (kw)
- ❖  $\gamma$ = peso específico del agua (Kn/m<sup>3</sup>)
- ❖ Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)
- ❖ h = pérdidas de energía por el fluido en su paso por el mezclador estático (m)

Remplazando tenemos:

$$P = \left(1 \frac{kN}{m^3}\right) * \left(0.0012519 \frac{m^3}{s}\right) * 0.02m$$

$$P = 0.00002538kW$$

$$P = 0.002538W$$

**Calculo para el diseño del tanque sedimentador.-** En el presente proyecto se diseñara un tanque de sedimentación de forma rectangular, cuyo diseño se describe a continuación. Lo primero que se debe calcular es el área superficial necesaria,. Dado que el caudal de diseño es de 7.02 (m<sup>3</sup>/día) y asumiendo un valor de carga de superficie (CS) 1.5 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día) (tabla 10) se calcula el área superficial necesaria.

$$A = \frac{Q}{CS}$$

Dónde:

- ❖ CS= carga superficial ( $m^3/m^2 \cdot \text{día}$ )
- ❖ Q= caudal ( $m^3/s$ )
- ❖ A= área ( $m^2$ )

Remplazando tenemos:

$$A = \frac{7.02m^3/\text{día}}{1.5m^3/m^2 * \text{día}}$$

$$A = 4.68m^2$$

Proponiendo una relación ancho/largo de 4 a 1, se calcula entonces el largo y el ancho del tanque, se utiliza la ecuación:

$$a = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

Dónde:

- ❖ A= área del sedimentador ( $m^2$ )
- ❖ a= ancho (m)

Remplazando tenemos:

$$a = \sqrt{\frac{4.68m^2}{4}}$$

$$a = 1.08m$$

Por lo tanto el largo será:

$$largo = 4 ancho$$

$$largo = 4 (1.08m)$$

$$largo = 4.32m$$

La nueva carga superficial será en base a la ecuación:

$$CS = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

- ❖ CS= carga superficial ( $m^3/m^2 \cdot día$ )
- ❖ Q= caudal ( $m^3/s$ )
- ❖ A= área ( $m^2$ )

Remplazando tenemos:

$$CS = \frac{7.02m^3/dia}{4.32m * 1.08m}$$

$$CS = 1.50$$

Proponiendo una profundidad de 1.70m se calcula el volumen del tanque a partir de la ecuación:

$$V = L * a * h$$

Dónde:

- ❖  $V$ = volumen del sedimentador ( $m^3$ )
- ❖  $L$ = largo (m)
- ❖  $a$ = ancho (m)
- ❖  $h$ = altura (m)

Remplazando tenemos:

$$V = 4.32m * 1.08m * 1.7m$$

$$V = 7.93m^3$$

Sumando al volumen un factor de seguridad del 15% tenemos:

$$V = 7.93m^3 + 15\%$$

$$V = 9.11m^3$$

**Calculo del tiempo de retención:** A partir de la ecuación:

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

- ❖  $V$ =volumen ( $m^3$ )
- ❖  $Q$ = caudal ( $m^3/s$ )



Remplazandotenemos:

$$Tr = \frac{9.11m^3}{0.438m^3/h}$$

$$Tr = 20.79 \text{ h}$$

**Se puede calcular la velocidad de arrastre:** A partir de la ecuación:

$$Vh = \left( \frac{8k(s-1)gd}{f} \right)^{1/2} \rightarrow$$

Dónde:

- ❖ Vh= velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de partículas (m/s)
- ❖ k= constante que depende del tipo de material arrastrado.
- ❖ S= peso específico de las partículas.
- ❖ g= aceleración de la gravedad.
- ❖ d= diámetro de las partículas.
- ❖ f= factor de fricción de Dary- Weisbach.

Remplazandotenemos :

$$Vh = \left( \frac{8(0.05)(1.25-1)(9.8m/s)(100 * 10^{-6})m}{0.025} \right)^{1/2} \rightarrow$$

$$Vh = 0.062$$

Esta velocidad de arrastre se compara con la velocidad horizontal, la cual se calcula a partir de la ecuación:

$$V_h = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

- ❖  $V_h$  = velocidad horizontal (m/s)
- ❖  $Q$  = caudal ( $m^3/s$ )
- ❖  $A$  = área del sedimentador rectangular ( $m^2$ )

Remplazandotenemos:

$$V_h = \frac{0.0012519m^3/s}{4.68m^2}$$

$$V_h = 0.0002675m/s$$

La velocidad horizontal es considerablemente menor que la velocidad de arrastre. Por lo tanto, el material sedimentado no será re-suspendido.

**Porcentaje de remoción:** Se calcula a partir de la ecuación:

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

Dónde:

- ❖  $R$  = porcentaje de remoción de DBO o SST esperado, (%)
- ❖  $t$  = tiempo nominal de retención, (h)
- ❖  $a, b$  = constantes empíricas

Remplazando tenemos:

➤ **Remoción de DBO**

$$R = \frac{20.79h}{0.018 + (0.020)(20.79h)}$$

$$R = 48 \%$$

➤ **Remoción de SST**

$$R = \frac{20.79h}{0.0075 + (0.014)(20.79h)}$$

$$R = 69.3 \%$$

**Calculo del filtro de sedimentos**

Para diseñar y calcular los filtros se realiza de acuerdo al caudal del líquido y del tiempo que se demora el líquido al ser filtrado, para retener las partículas sólidas.

**Calculo del caudal del filtro:** Se lo realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

**Dónde:**

❖ Q= caudal m<sup>3</sup>

❖  $V$ = velocidad de filtrado ml

❖  $t$ = tiempo s

Remplazando tenemos:

$$Q = \frac{3000 \text{ ml}}{60s}$$

$$Q = 50 \text{ ml/s}$$

Transformando tenemos

$$Q = 5 * 10^{-5} m^3/s$$

**Calculo de la tasa media de filtración.** Se la realiza a partir de la ecuación de la siguiente ecuación:

$$tmf = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

❖  $tmf$ = tasa media de filtración  $m^3/m^2 \text{ s}$

❖  $Q$ = caudal  $m^3/s$

❖  $A$ = área filtrante  $m^2$

Remplazando tenemos:

$$tmf = \frac{5 * 10^{-5} m^3/s}{0.0129 m^2}$$

$$tmf = 0.00387m^3/m^2s$$

**Calculo del área total de filtración:** Se la realiza a partir de la ecuación de la siguiente ecuación:

$$At = \frac{Q}{tmf}$$

**Dónde:**

- ❖ At= área total  $m^2$
- ❖ Q= caudal  $m^3/s$
- ❖ tmf= tasa media de filtración  $m^3/m^2 s$

Remplazando tenemos:

$$At = \frac{5 * 10^{-5}m^3/s}{0.00387m^3/m^2s}$$

$$At = 0.013m^2$$

### 3.2.-DOSIFICACIÓN IDEAL DE POLICLORURO DE ALUMINIO AL 25%(P/V)

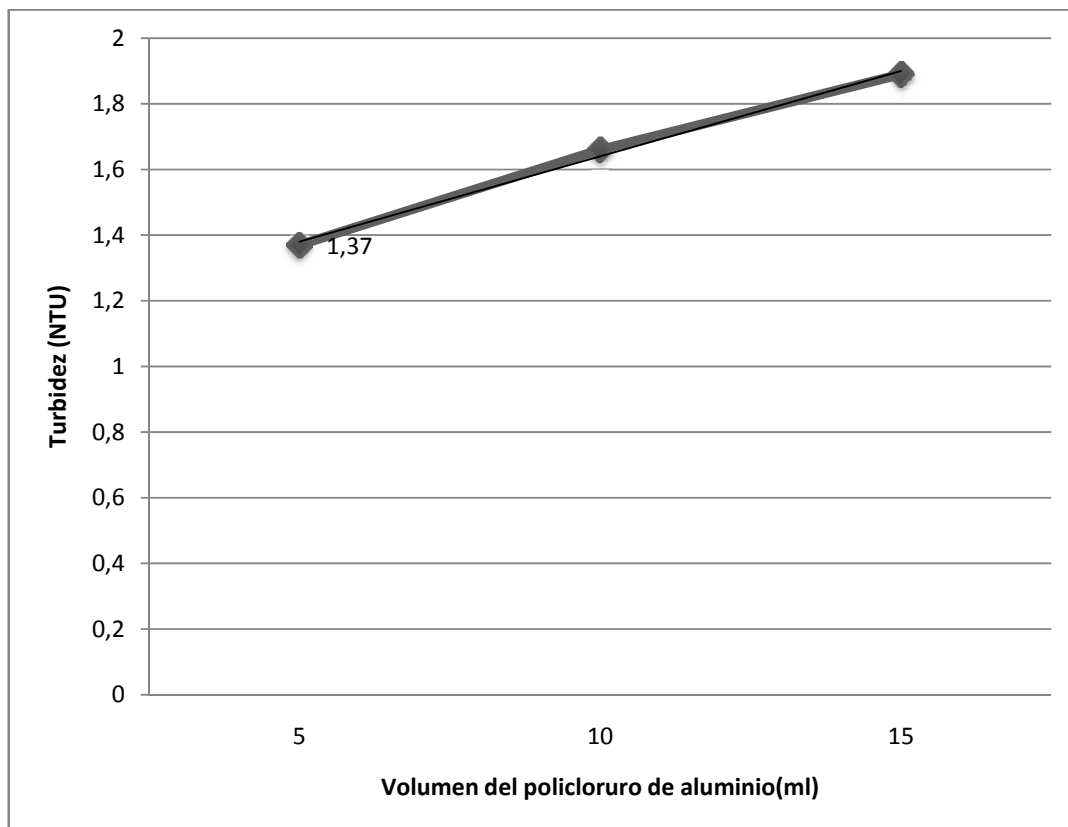
Tabla 18.- Diferentes dosificaciones del policloruro de aluminio al 25% (P/V). Prueba

1

# de jarra con capacidad de 400ml	pH del agua residual	Dosis de solución de policloruro de aluminio al 25% (P/V)	Tiempo (min)	pH del agua tratada	Turbidez (NTU)
1	6.89	5,0mg/L	66	6.38	1.37
2	6.89	10,0mg/L	66	6.98	1.66
3	6.89	15,0mg/L	66	7.01	1.89

Fuente : Antonio Latorre.

**Gráfico 11.- Dosis óptima de policloruro de aluminio (prueba1)**



Fuente: Antonio Latorre.

**Nota:** Realizamos la segunda dosificación a partir del volumen que nos dio la menor turbidez de 1.37 NTU

**Tabla 19.- Diferentes dosificaciones del policloruro de aluminio al 25% (P/V). Prueba**

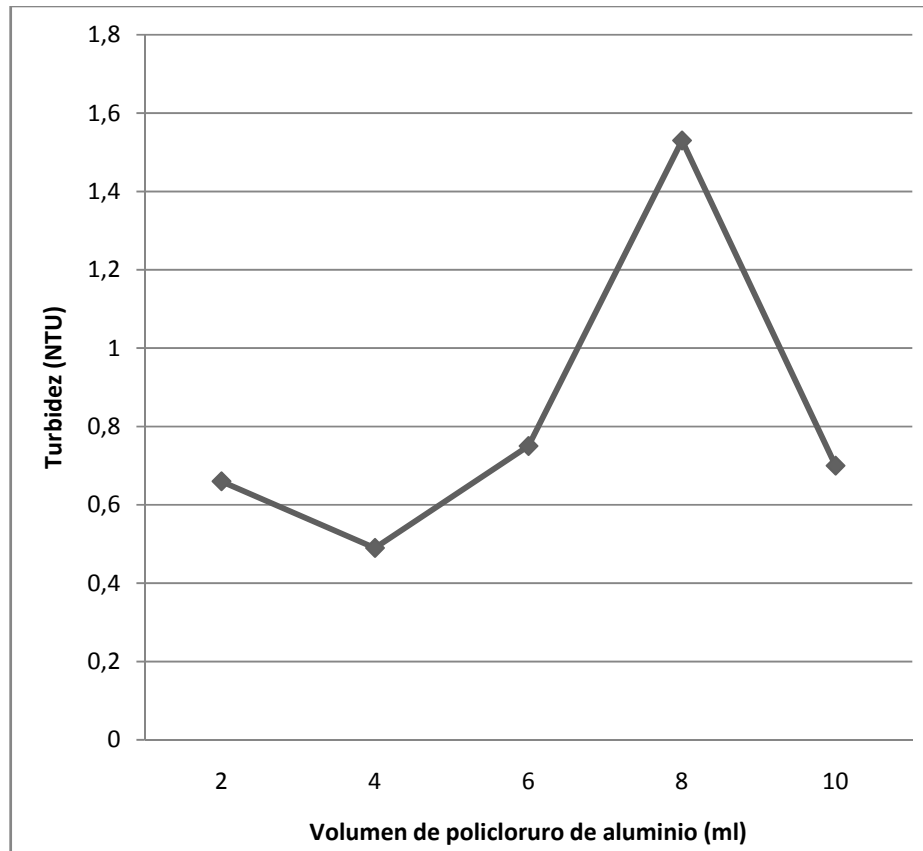
2

<b># de jarra con capacidad de 400ml</b>	<b>pH del agua residual</b>	<b>Dosis de solución de policloruro de aluminio al 25% (P/V)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>pH del agua tratada</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
1	6.89	2,0mg/L	48	6.57	0.66
2	6.89	4,0mg/L	48	6.75	0.49
3	6.89	6,0mg/L	48	6.42	0.75
4	6.89	8,0mg/L	48	6.37	1.53
5	6.89	10,0mg/L	48	6.29	0.70

Fuente: Antonio Latorre



**Gráfico 12.- Dosis óptima de policloruro de aluminio (prueba 2)**



Fuente : Antonio Latorre.

**Nota:** La dosis optima de policloruro de aluminio es de 4.0 mg/L con una turbidez del 0.49 NTU y un tiempo de agitación homogéneo de 10 segundos seguido de un tiempo de reposo de 48 minutos.

**Tabla 20.- Evaluación del tratamiento con policloruro de aluminio al 25% (P/V)**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Dosis (mg)	4.0mg/L
Tiempo de sedimentación(min)	48
Turbidez inicial NTU	15.34
Turbidez final NTU	0.49
pH inicial	6.89
pH final	6.75
% de eficiencia	96.8

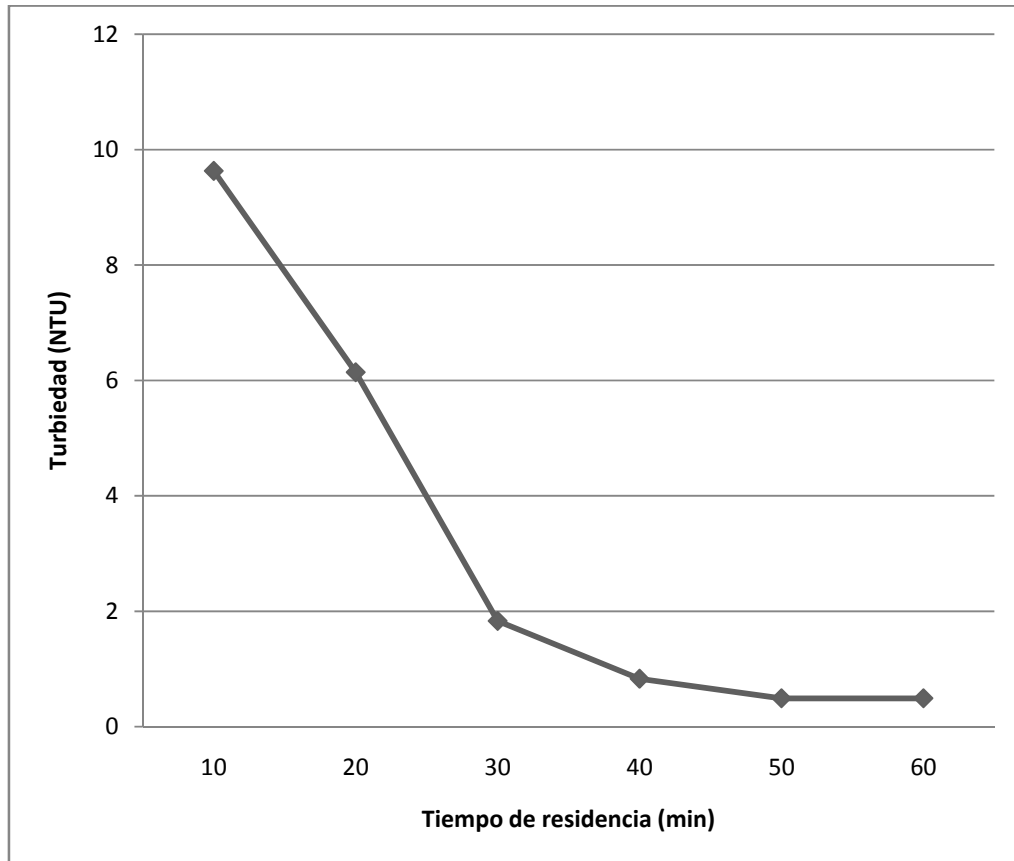
Fuente: Antonio Latorre.

**Tabla 21.- Diferentes tiempos de residencia**

<b>Tiempo</b>	<b>Turbiedad (NTU)</b>
10	9.63
20	6.14
30	1.83
40	0.83
50	0.49
60	0.49

Fuente: Antonio Latorre

**Gráfico 13.- Tiempos de residencia**



Fuente: Antonio Latorre.

**Nota:** Para evaluar el desempeño del proceso y la dosificación realizo otra prueba con menores concentraciones.

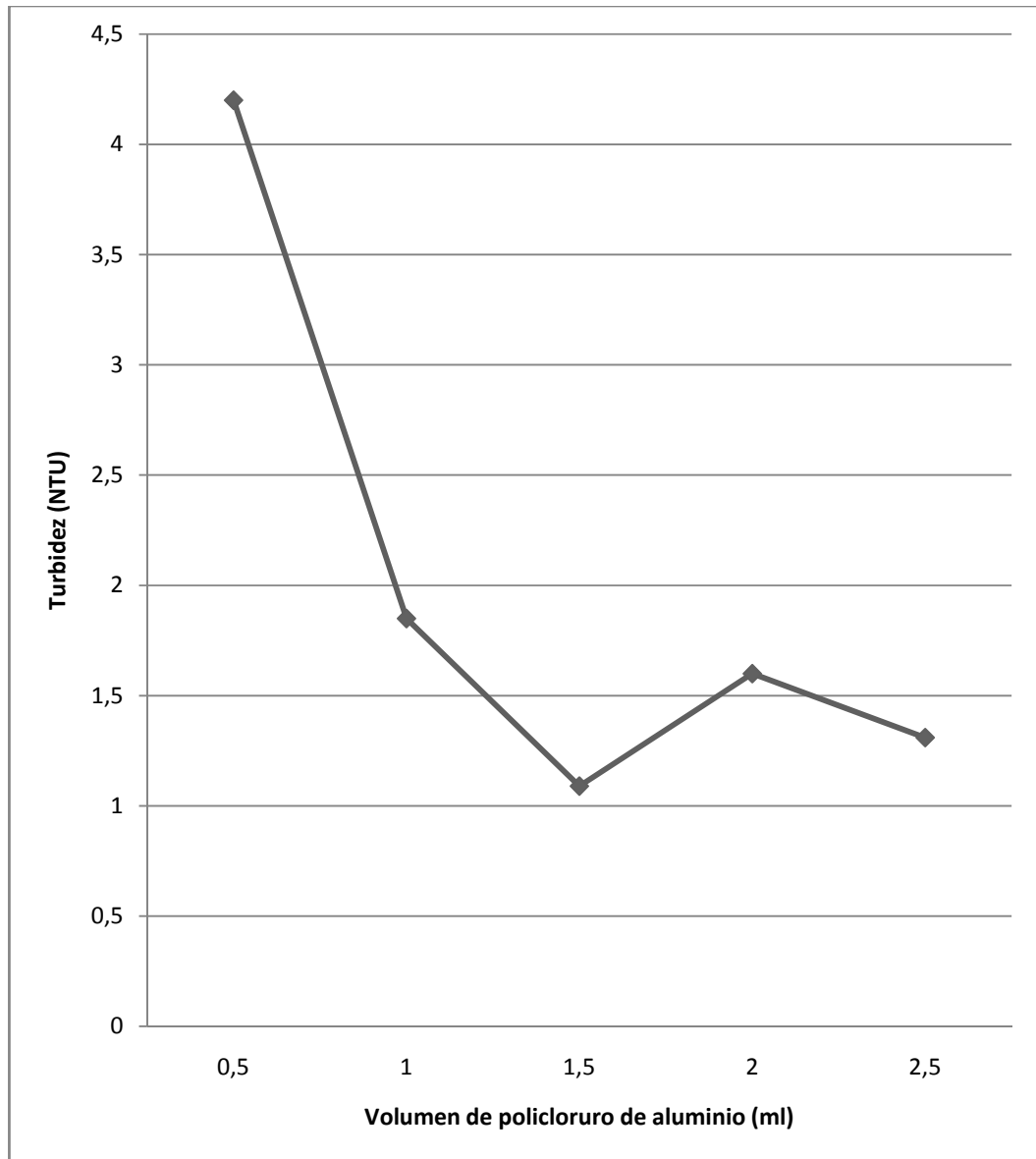
**Tabla 22.- Evaluación de las dosificaciones del policloruro de aluminio al 25% (P/V).**

**Prueba 3**

<b># de jarra con capacidad de 400ml</b>	<b>pH del agua residual</b>	<b>Dosis de solución de policloruro de aluminio al 25% (P/V)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>pH del agua tratada</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
1	6.89	0,5mg/L	48	6.84	4.20
2	6.89	1,0mg/L	48	6.82	1.85
3	6.89	1,5mg/L	48	6.78	1.09
4	6.89	2,0mg/L	48	6.76	1.6
5	6.89	2,5mg/L	48	6.72	1.31

Fuente: Antonio Latorre.

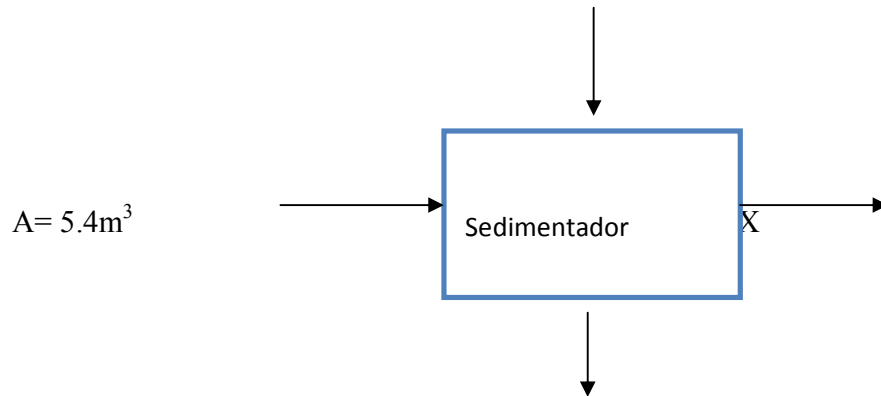
**Gráfico 14.- Dosis óptima de policloruro de aluminio (prueba 3)**



Fuente: Antonio Latorre

### 3.2.1.- BALANCE DE MATERIA DEL SEDIMENTADOR

$$B= 0.054 \text{ m}^3$$



$$D= 1.347 \text{ m}^3$$

Dónde:

- ❖ A= Entrada del caudal de agua residual  $\text{m}^3$
- ❖ B= Entrada de solución de Policloruro de Aluminio al 25%  $\text{m}^3$
- ❖ C= Salida del proceso del efluente  $\text{m}^3$
- ❖ D= salida del sedimento generado por el proceso  $\text{m}^3$

Desarrollando tenemos:

$$A+B=C+D$$

$$5.4 \text{ m}^3 + 0.054 \text{ m}^3 = C + 1.347 \text{ m}^3$$

$$5.454 \text{ m}^3 - 1.347 \text{ m}^3 = C$$

$$C = 4.107 \text{ m}^3$$

**Nota:** Los datos calculados en el balance fueron obtenidos experimentalmente en el laboratorio de Análisis Técnicos en la Facultad de Ciencias y maximizados al diseño y se detallan en la tabla 21.

**Tabla 23.- Datos obtenidos experimentalmente y aplicados al diseño**

<b>Experimental</b>	<b>Concentración de policloruro de aluminio al 25 % (P/V) y condiciones</b>
<b>Muestra de 400 ml</b>	<p><b>4ml que representa el 1% del total de la muestra. Condiciones:</b></p> <p>Temperatura Ambiente.</p> <p>Agitación por 10 segundos.</p> <p>Tiempo de reposo de 48 minutos</p> <p>Total de sedimentación de 100ml que representa el 24.7% de la muestra.</p>
<b>Diseño</b>	<b>Concentración de policloruro de aluminio al 25 % (P/V) y condiciones</b>
<b>Caudal de descarga 5.4 m<sup>3</sup></b>	<p><b>54 lts que representa el 1% del total del caudal. Condiciones:</b></p> <p>Temperatura Ambiente.</p> <p>Agitación por 10 segundos.</p> <p>Tiempo de reposo de 48 minutos</p> <p>Total de sedimentación de 1347 lts que representa el 24.7% del caudal.</p>

Fuente: Antonio Latorre



### 3.3.- RESULTADOS.

#### 3.3.1.- CAUDAL

**Tabla 24.- Caudales del proceso sumado el Factor de Mayorización**

<b>Días laborables</b>	<b>Caudal m<sup>3</sup></b>	<b>Caudal m<sup>3</sup> mas FM</b>
Día	5.4	7.02
Semana	32.4	42.12
Mes	129.6	168.48
Año	1555.2	2021.76

Fuente: Antonio Latorre

#### 3.3.2.-HOMOGENIZADOR

**Tabla 25.- Resultados obtenidos para el diseño del tanque homogenizador**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Altura	2	M
Área	3.51	m <sup>2</sup>
Volumen	8.073	m <sup>3</sup>
Potencia de las paletas	0.002538	W

Fuente: Antonio Latorre

### 3.3.3.-SEDIMENTADOR

**Tabla 26.- Resultados obtenidos para el diseño del tanque sedimentador.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área	4.68	m <sup>2</sup>
Ancho	1.08	M
Altura	1.7	M
Largo	4.32	M
Volumen	9.11	m <sup>3</sup>
Carga superficial	1.50	---
Tiempo de retención	20.7(sin peróxido de hidrogeno) o 0.48 (con la adición de peróxido de hidrogeno)	H
Velocidad de arrastre	---	---
Velocidad horizontal	0.0002675	m/s
Remoción DBO	48	%
Remoción SST	69.3	%

Fuente: Antonio Latorre

### 3.3.4.- FILTRO.

**Tabla 27.- Resultados obtenidos para el diseño del filtro**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Largo	0.508	m
Diámetro interno	0.0025	m
Diámetro externo	0.06	m
Caudal de filtrado	5*10-5	m <sup>3</sup> /s
Tasa media de filtración	0.00387	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s
Área total de filtración	0.013	m <sup>2</sup>

Fuente: Antonio Latorre y datos del fabricante

### 3.3.5.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO PARA REUTILIZACIÓN

**Tabla 28.- Resultados obtenidos para el diseño del tanque de almacenamiento.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área	4.68	m <sup>2</sup>
Ancho	1.08	m
Altura	1.7	m
Largo	4.32	m
Volumen	9.11	m <sup>3</sup>

Fuente: Antonio Latorre.

### 3.3.6.- DOSIFICACIÓN IDEAL DEL POLICLORURO DE ALUMINIO AL 25%

(P/V)

**Tabla 29.- Evaluación del tratamiento con policloruro de aluminio al 25% (P/V)**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Dosis (mg)	4.0mg/L
Tiempo de sedimentación(min)	48
Turbidez inicial NTU	15.34
Turbidez final NTU	0.49
pH inicial	6.89
pH final	6.75
% de eficiencia	96.8

Fuente: Antonio Latorre

### 3.4.-PROPUESTA

Para poder tratar este tipo de efluentes generados por la Clínica de los Rinones Menydia, en su proceso de hemodiálisis se propuso el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual con la finalidad de disminuir la carga contaminante, para que esta agua pueda cumplir con los niveles establecidos por el TULAS en el libro VI en el Anexo I.

Mejorando y restableciendo sus condiciones para que esta agua pueda ser reutilizada, el tratamiento realizado al agua residual garantiza condiciones similares al agua potable de distribución de la ciudad de Riobamba, dejando así un amplio campo de utilización de la misma como:

- ❖ En la utilización de baños.
- ❖ En la utilización de jardines.
- ❖ Incluso puede ser reinsertada al proceso de hemodiálisis, previo a un tratamiento de osmosis inversa.

Por lo cual se propone el siguiente sistema de tratamiento, el cual consta de los siguientes componentes:

- Recolección del agua residual proveniente del proceso de hemodiálisis, la cual es descargada por una tubería de 0.10m de diámetro en el tanque homogeneizador.
- El tanque homogeneizador donde se va a realizar la mezcla de las aguas residuales provenientes de todas las maquinas que realizan el proceso de hemodiálisis, el cual fue diseñado para un volumen de capacidad de  $8.073\text{m}^3$ , con una área total de  $3.51\text{m}^2$  y una altura de 2m, donde se implementa una paleta homogeneizadora de 0.0025 W de potencia. El agua homogenizada pasara al tanque de sedimentación a través de una tubería de 0.10m de diámetro por gravedad.
- Seguido de un tanque de sedimentación rectangular, el cual tiene las siguientes dimensiones: con un área total de  $4.68\text{m}^2$ , 4.32m de largo por 1.08m de ancho y una altura de 1.7m, para un volumen de capacidad de  $9.11\text{m}^3$  donde se tratara el agua con policloruro de aluminio ,con un tiempo de residencia de 48 minutos con una efectividad del 96.8% con el que se pretende eliminar en su totalidad el DBO y los SST, para que de esta manera pueda cumplir con los límites establecidos de descarga.

- Al cual se le implementara 3 filtros encapsulados de 5 micras o 2 micras , con una capacidad de filtrado de  $5 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$  con dimensiones establecidas de 0.508m de largo, con un diámetro interno de 0.0025m y uno externo de 0.06 capaz de resistir 20 psi, generadas por una bomba externa de 1.5 hp recomendada por el fabricante de los filtros
- Finalmente el agua después de ser filtrada será descargada en un tanque de similares características del tanque clarificador donde recibirá un tratamiento con hipoclorito para posteriormente ser analizada y reutilizada.

Conceptos básicos del sistema:

**HOMOGENIZACIÓN DEL CAUDAL.**-Se efectúa con el fin de homogeneizar las cargas de DBO y sólidos en suspensión para mejorar la efectividad de los procesos de tratamiento aguas abajo

**FLOCULACIÓN.**-Este fenómeno provoca la agregación de pequeñas partículas en flóculos, cuya eliminación por sedimentación por gravedad se ve facilitada por el aumento de volumen y masa.

**SEDIMENTACIÓN.**-Se produce debido a la acción de la fuerza de la gravedad. Promueve el traslado de sólidos al fondo del sistema para su posterior extracción.

**FILTRACIÓN.**-Eliminación de los sólidos residuales en suspensión presentes después del tratamiento químico o biológico

**DESINFECCIÓN CON CLORO.**-Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades; el Cloro es el producto químico más utilizado

### 3.4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas de caracterización se realizaron en un solo Laboratorio que fue el de Análisis técnicos de la Facultad de Ciencias, con muestras de agua, originales provenientes del proceso que involucra en su totalidad la hemodiálisis.

A continuación se realiza un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización de la muestra original sin tratamiento alguno.

**Tabla 30.- Análisis de resultados**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Antes del tratamiento</b>	<b>Después del tratamiento</b>	<b>Eficiencia %</b>
Ph	Unid	6.89	6.75	98
Turbiedad	NTU	15.34	0.49	96.8
Solidos totales	mg/l	10656.0	647.0	93.9
Conductividad	μS/cm	13410	390	97.09
Solidos disueltos	mg/l	8314.2	276	96.6
DBO	mg/l	1080.0	<1	>99
DQO <sub>5</sub>	mg/l	1540.0	<1	>99

Fuente: Antonio Latorre

**Nota:** El DBO se elimina por oxidaciones diversas (aire, oxígeno, ozono, cloro) y se mantiene una relación muy estrecha entre el DBO y DQO<sub>5</sub>

Según los análisis del agua residual antes y después del tratamiento, se puede indicar, que como resultado del tratamiento del agua residual proveniente del proceso de hemodiálisis, se obtuvo una remoción del DBO del >99%, DQO<sub>5</sub> >99%, para el contenido de sólidos totales SST una reducción del 93.9%. La reducción de la turbidez del 96.8%, la conductividad del 97.09% y un pH de 6.75. Obteniéndose de esta manera una agua tratada que garantiza su reutilización puesto que cumple con límites establecidos en la Norma NTE INEN 1 108: 2010 Requisitos, agua potable. Tomando como referencia para el tratamiento los límites establecidos por el TULAS en el libro VI en el Anexo I para descarga de aguas residuales industriales.

### **3.5.- DISCUSIÓN.**

Mediante el trabajo de investigación realizado en el tratamiento de aguas residuales generadas por el proceso de hemodiálisis, de la clínica de los riñones “Menydial”, del Cantón Riobamba, se ha llegado a obtener los resultados buscados de los parámetros característicos del agua residual que se precisaba disminuir, para que dicha agua pueda ser reutilizada cumpliendo con límites establecidos en la Norma NTE INEN 1 108: 2010 Requisitos, agua potable. Tomando como referencia para el tratamiento los límites establecidos por el TULAS en el libro VI en el Anexo I para descarga de aguas residuales industriales.



El objetivo principal fue determinar, analizar y dar una solución al agua residual, para esto se realizó ensayos de jarras con los cuales se logró determinar la dosis y pH óptimo de floculante a utilizar (policloruro de aluminio al 25%). Con todo esto se puede decir, que como resultado del tratamiento del agua residual proveniente del proceso de hemodiálisis, obteniendo una remoción de DBO y DQO<sub>5</sub>>99. El diseño tiene un desempeño y efectividad del 97.2% en todo su sistema.

En cuanto a los beneficios de la medida se puede establecer que el diseño del sistema de tratamiento de agua residual para el proceso de hemodiálisis, establece beneficios ambientales y económicos, ya que desde el punto de vista empresariallos sistemas de tratamiento de agua residual destinados a minimizar o evitar la generación de residuos, no conllevan beneficios económicos por lo contrario representa gastos de ahí la importancia de agotar las posibilidades de implementar medidas de producción más limpias y reutilización.

En si los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio son exitosos ya que el propósito final era diseñar un sistema que permita restablecer las condiciones iniciales o similares para que la misma pueda ser reutilizada.

## **CAPITULO IV**

### **4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1.- CONCLUSIONES:**

- ❖ Al caracterizar el agua residual proveniente del proceso de hemodiálisis de la clínica de los riñones Menydial, los resultados fueron 1080.0 mg/l de DBO, 1540.0 mg/l de DQO<sub>5</sub>, 15.34 NTU de turbiedad, 10656.0 mg/l de SST, 13410 µS/cm de conductividad y 8314.2 mg/l de Solidos Disueltos, los cuales fueron analizados y tratados con el fin de bajar el nivel de contaminación, puesto que no cumplen con los límites de descarga establecidos en el TULAS en el libro VI en el Anexo I para descarga de aguas residuales industriales.
- ❖ El sistema de tratamiento de agua residual consiste de un tanque homogeneizador con capacidad para 8.073m<sup>3</sup> accionado por una paleta de 0.0025 W, un tanque clarificador de 9.11 m<sup>3</sup> en el cual se va a añadir floculante, en este caso Policloruro de Aluminio al 25% (P/V) para la mitigación del agua residual, llegando a ser la dosis optima de floculante 4.0 mg/l a un Ph de 6.75, 3 filtros encapsulados para sedimentos de 5micras por acción externa de una bomba y un tanque de estabilización de 9.11 m<sup>3</sup> en el cual se añade cloro comercial para potabilización de 250 mg/l por cada 100 lts. Cabe recalcar que a diferencia de filtros el resto del sistema funciona por gravedad.

- ❖ Se debe establecer la concentración ideal de Policloruro de Aluminio al 25% porque la misma no es directamente proporcional con la eficiencia.
- ❖ El tiempo de retención para la floculación es de 48 minutos con la adición de Peróxido de Hidrogeno que actúa como un catalizador de la reacción con una concentración de 0.5 mg/l, se considera ideal este tiempo puesto que a partir del mismo, la turbiedad se mantiene constante y de esta forma se evita alargar innecesariamente dicho tiempo, con el fin de agilizar el tratamiento propuesto.
- ❖ Se puede indicar, que como resultado del tratamiento del agua residual proveniente del proceso de hemodiálisis tiene una eficiencia global del 97.2%. De esta manera el agua puede ser reutilizada, puesto que cumple con los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 1 108: 2010 Requisitos, agua potable o descargada al alcantarillado publico si dispone la empresa puesto que también cumple con los límites establecidos por el TULAS en el libro VI en el Anexo I para descarga de aguas residuales industriales.
- ❖ En la actualidad, sobre una base puramente teórica, es imposible predecir la dosis óptima de coagulante para un agua dada, en consecuencia, la dosis y condiciones típicas adecuadas para lograr la coagulación deben ser determinadas empíricamente para cada tipo de agua, principalmente por ensayos de floculación.
- ❖ Al realizar las pruebas físicas del agua después del tratamiento se obtiene una turbiedad del 0.49 NTU lo que garantiza y fundamenta condiciones óptimas de reutilización o descarga del efluente.

#### **4.2.-RECOMENDACIONES:**

- ❖ Preparar las soluciones de Policloruro de Aluminio al 25% (P/V) el día en que se va a realizar la floculación y evitar al mínimo guardarlas y volverlas a reutilizar.
- ❖ Realizar una limpieza periódica de los filtros y cambiarlos si es necesario.
- ❖ El personal que verifique el normal funcionamiento de la planta debe utilizar toda la protección necesaria para el manejo y protección personal.
- ❖ Hacer análisis frecuentes al agua tratada para verificar que el tratamiento está marchando bien y que los contaminantes están siendo minimizados y sobre todo que se está cumpliendo con lo establecido en la investigación.
- ❖ El agua que es tratada puede ser sometida a una operación de osmosis inversa para mejorar sus condiciones y ser reutilizada en el proceso o a fines.
- ❖ Los lodos obtenidos en el sistema (gel) deben ser descargados en un pozo de oxidación, para su debida descomposición.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **GENERAL**

1. **ARNAL J.M Y OTROS.**, Water potabilization in developing countries: natural coagulants. Desalination 200 (2006).,Pp 325–326.
2. **BADU R., CHAUDHURI M.**, Home water treatment by direct filtration with naturalcoagulants. Journal of Water and Health., 03.1, 2005., Pp 215-223.
3. **COGOLLO J.**, Clarificación del agua usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. 2010. Dyna., Año 78., Nro. 165., Pp. 1827.
4. **CRITES.**, Tratamientos de aguas residuales., Primera ed., Bogotá Colombia., Mc Graw-Hill. 2000.,Pp 210-225.
5. **CRITES R./TCHOBANOGLIOUS G.**, Tratamientos de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones., McGraw Hill., 2001.,Pp 227-238.
6. **DEGREMONT.**, Depuración de Aguas, Manual Técnico del Agua., 4ªEdicion., Editorial Grafo S.A., Bilbao- España., 1979., Pp 278-296.

7. **GORDON.M.**, Purificación de aguas y tratamientos y remoción de aguas residuales., España., Pp 56-67.
8. **GUERRERO RAÚL.**, Manual de Tratamientos de Aguas., Editorial. Primera ed., México 1976., Pp 65-72.
9. **METCALF/ EDDY.**, Ingeniería de Aguas Residuales., Tratamiento, vertido y reutilización., 3ª ed McGraw Hill., España., 1998., Pp 278-296.
10. **RAMALHO, R.S.**, Tratamiento de Aguas Residuales., Editorial Reverte S.A., Barcelona- España., 1991., Pp 101-120.
11. **RIGOLA M., LAPEÑA B.**, Tratamiento de aguas industriales., s.ed., México., Editorial Limusa., 1998., Pp 96-102.
12. **WALTER, J.,WEBER, J, R.**, Control de la calidad del Agua, Procesos físico-químicos., Editorial Reverte S.A., España., 1979., Pp 196-201.
13. **DEGREMONT.**, Depuración de Aguas, Manual Técnico del Agua., 4ªEdicion., Editorial Grafo S.A., Bilbao- España., 1979., Pp 215-223.

## **REVISIÓN DE INTERNET**

### **14. PROCESO DE HEMODIALISIS**

<http://www.uninet.edu/cin2001-old/conf/perez/perez.html> 2009.

2012/06/15

<http://www.fisterra.com/Salud/3proceDT/hemodialisis.asp> 2010.

2012/06/15

<http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/0703Gamboa.pdf> 2011.

2012/06/15

### **15. REUTILIZACION DEL AGUA**

<http://www.lenntech.es/reutilizacion-agua.htm#ixzz1ZwNbsGHY> 2011.

2012/06/17

<http://www.lenntech.es/reutilizacion-agua.htm> 2011.

2012/06/17

### **16. EL AGUA FUENTE DE VIDA.**

<http://www.clubdelamar.org/elagua.htm> 2008.

2012/06/17

## **17. GENERALIDADES DEL AGUA RESIDUAL**

[http://www.agualatinuamerica.com/docs/PDF/DeLaLaveSepOct02.](http://www.agualatinuamerica.com/docs/PDF/DeLaLaveSepOct02.pdf)

pdf 2002.

2012/0621

## **18. TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

<http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/tipostratamientos.html>

2006.

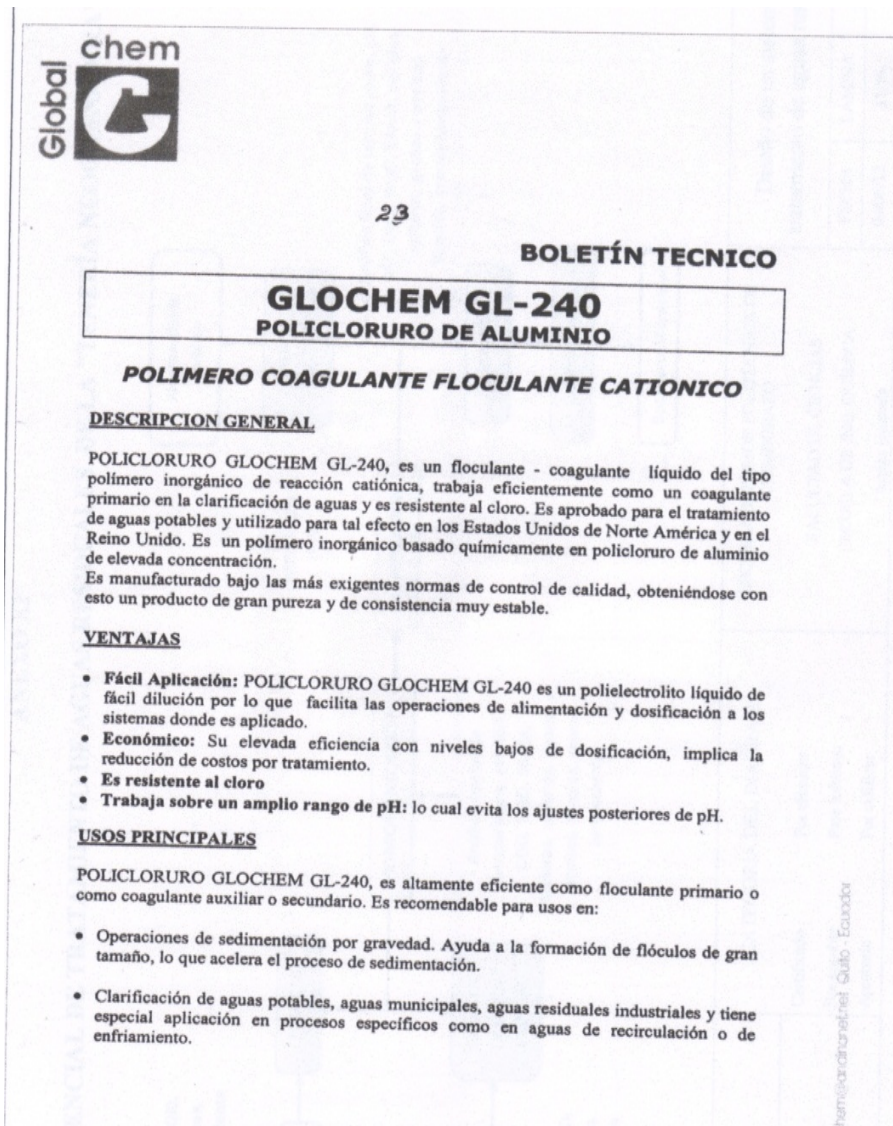
2012/0621

## **ANEXOS.-**



## Anexo 1.- Floculante GLOCHEM GL-240

### ANEXO I Floculante GLOCHEM GL-240



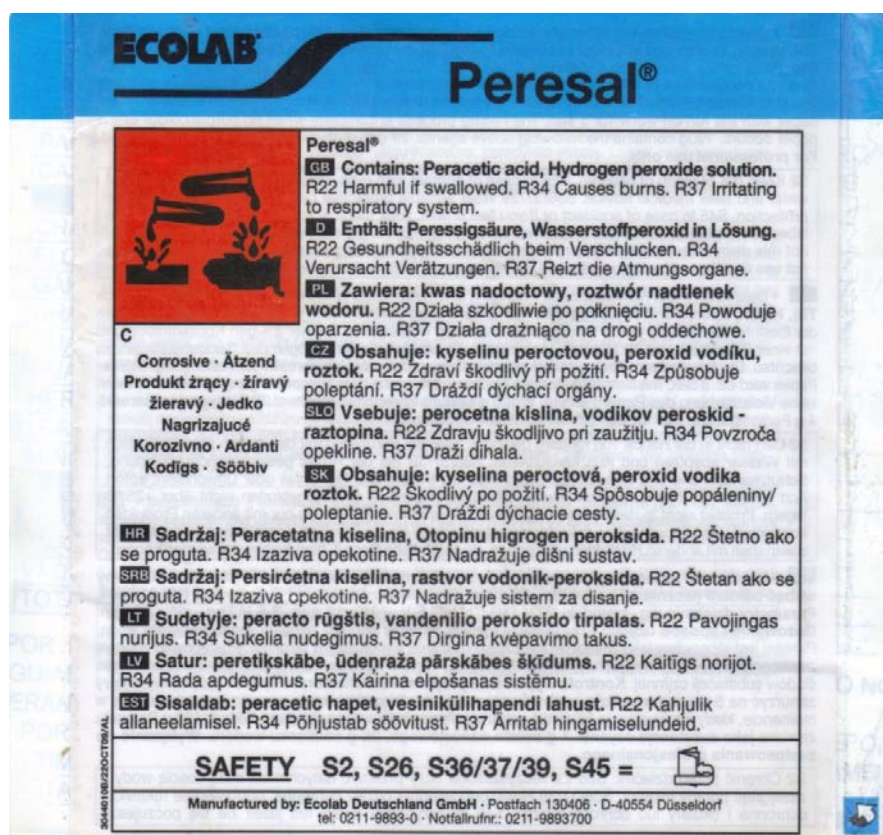
Ficha técnica del Policloruro de Aluminio

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Floculante	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		06-12-2012	01	1:10

## Anexo 2.- Ficha técnica del Peresal

### ANEXO II

Ficha técnica del Peresal o Peróxido de hidrogeno



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Catalizador de la floculación	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		06-12-2012	02	10:1

### Anexo 3.- Análisis Fisicoquímico del Agua antes de ingresar al proceso

#### ANEXO III

#### Análisis Fisicoquímico del Agua Antes de Ingresar al Proceso

##### LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

##### INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Sr. Israel Latorre

Fecha de análisis: 11 de octubre de 2011

Fecha de entrega de resultados: 16 de octubre de 2011

Tipo de muestra: Agua tratada por osmosis inversa

Localidad: Clínica de los Riñones MENYDIAL, Riobamba

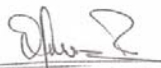
Código: LAT/FQ-242-11

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
pH	Unid	6.5 - 8.5	4.89
Conductividad	µS/cm	< 1250	7
Turbiedad	UNT	1	0.1
Cloruros	mg/L	250	8.5
Dureza	mg/L	200	0.0
Calcio	mg/L	70	0.0
Magnesio	mg/L	30 - 50	0.0
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	25.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	25.5
Amonios	mg/L	0.5	0.02
Hierro	mg/L	0.30	0.025
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.058
Sólidos Totales	mg/L	1000	60.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	4.3

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Agua demineralizada, Ph bajo

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS  
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

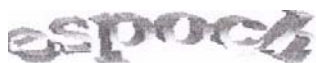
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Resultado Antes de ingresar al proceso			06-12-2012	03	3:1



## Anexo 4.- Análisis Fisicoquímico del Agua Residual del Proceso

### ANEXO IV

#### Análisis Fisicoquímico del Agua Residual del Proceso



#### LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

##### FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

#### **INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

**Solicitado por:** Sr. Israel Latorre

**Fecha de análisis:** 11 de octubre de 2011

**Fecha de entrega de resultados:** 16 de octubre de 2011

**Tipo de muestra:** Agua residual del proceso de hemodiálisis

**Localidad:** Clínica de los Riñones MENYDIAL, Riobamba

**Código:** LAT/FQ-243-11

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.49
Conductividad	µS/cm	< 1250	13410
Turbiedad	UNT	1	0.0
Cloruros	mg/L	250	4311.9
Dureza	mg/L	200	160.0
Calcio	mg/L	70	48.0
Magnesio	mg/L	30 - 50	9.7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	3200.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	3264.0
Amonios	mg/L	0.5	1.51
Hierro	mg/L	0.30	1.736
Fosfatos	mg/L	< 0.30	1.517
Sólidos Totales	mg/L	1000	10656.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	8314.2

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

**Observaciones:**

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

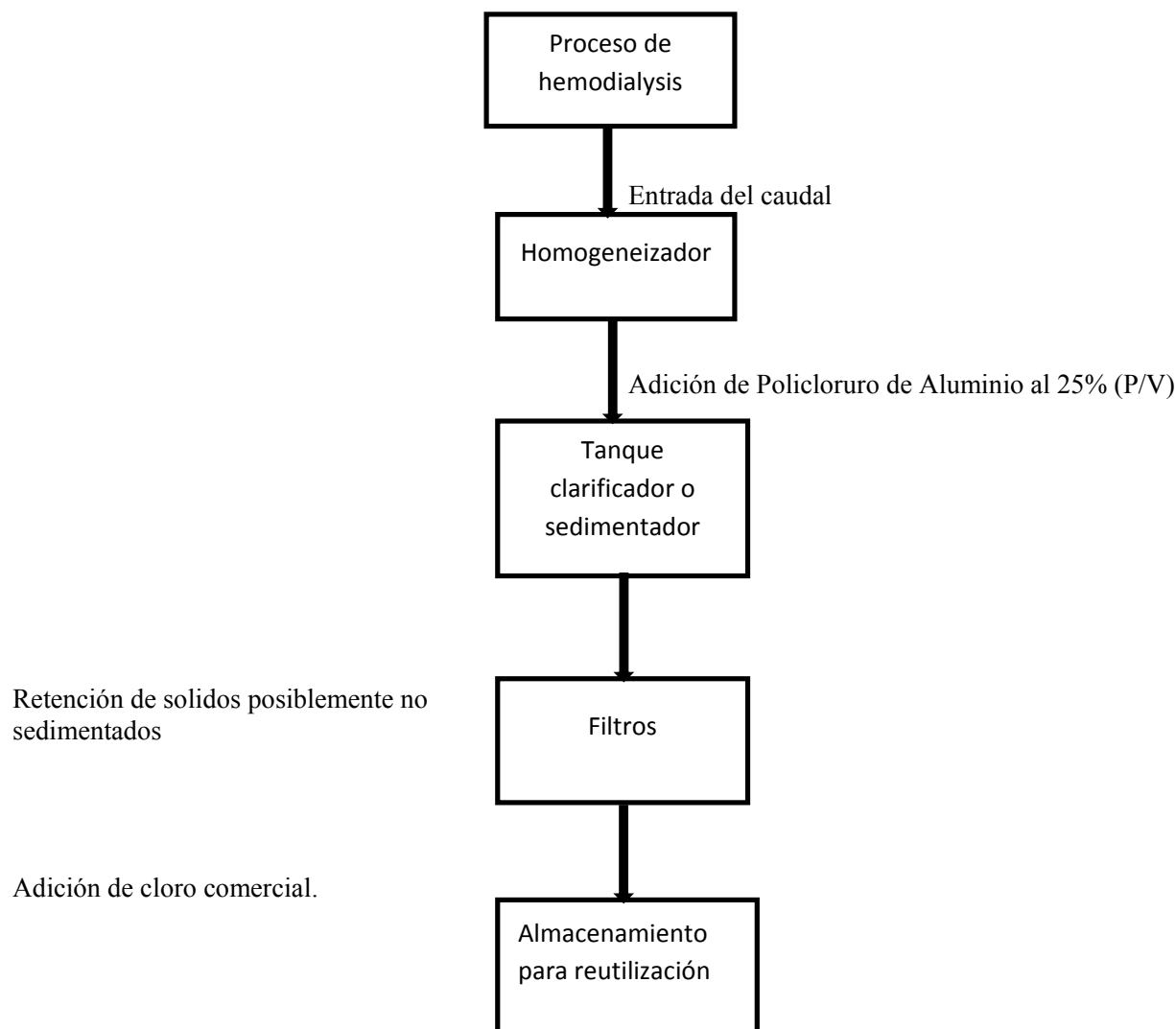
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Resultado después de salir del proceso	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		06-12-2012	04	3:1

### Anexo 5.- Diagrama de Flujo del sistema de tratamiento

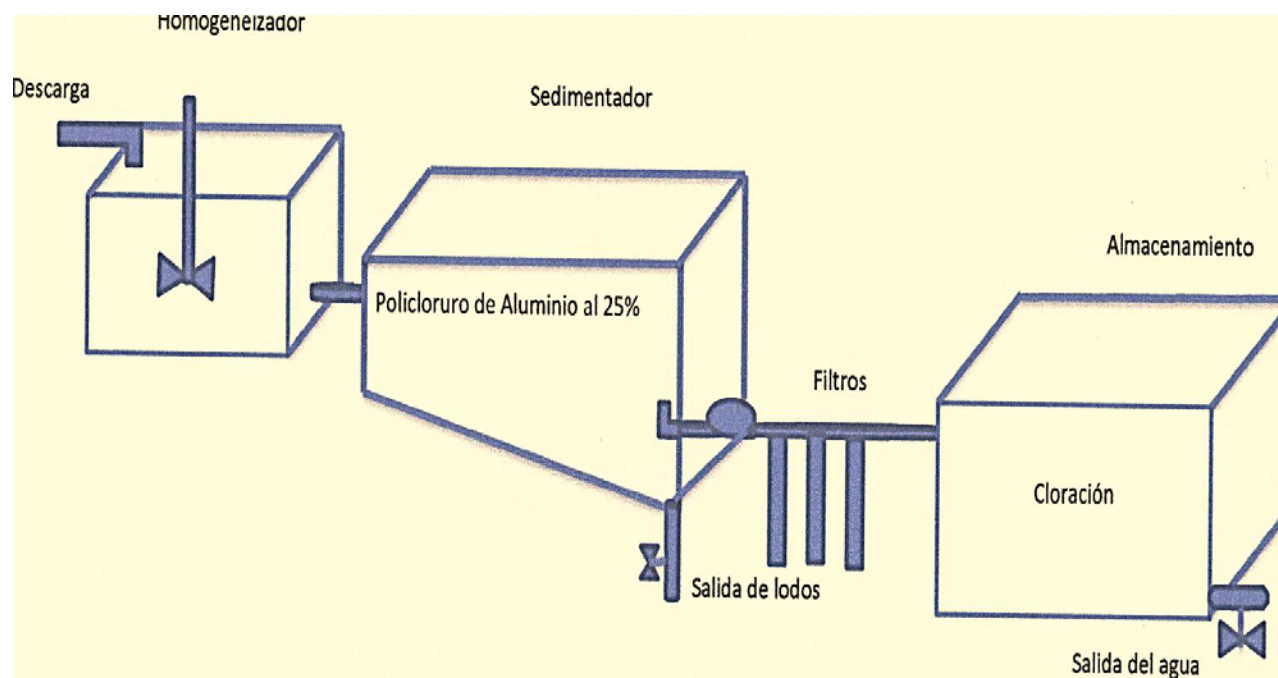
#### ANEXO V Diagrama de flujo del sistema de tratamiento



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Diagrama de flujo del sistema			06-12-2012	05	1:1

## Anexo 6.- Diseño de la planta de tratamiento

### ANEXO VI Diseño de la planta de tratamiento



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Planta de tratamiento medidas especificadas en la propuesta	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		06-12-2012	06	100:1

## Anexo 7.- Policloruro de Aluminio

### ANEXO VII Policloruro de Aluminio



a) Policloruro de Aluminio normal

b) Solucion de Policloruro de Aluminio al 25%

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Floculante utilizado	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		06-12- 2012	07	20:1

## Anexo 8.- Búsqueda de la concentración ideal de policloruro de aluminio prueba 1

### ANEXO VIII

#### Búsqueda de la concentración ideal de policloruro de aluminio prueba 1



a) Diferencia de concentraciones de 5ml C/U



b) Mejor flocculación concentración de 5ml punto de partida

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Búsqueda de la concentración ideal de floculante	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		06-12- 2012	08	20:1



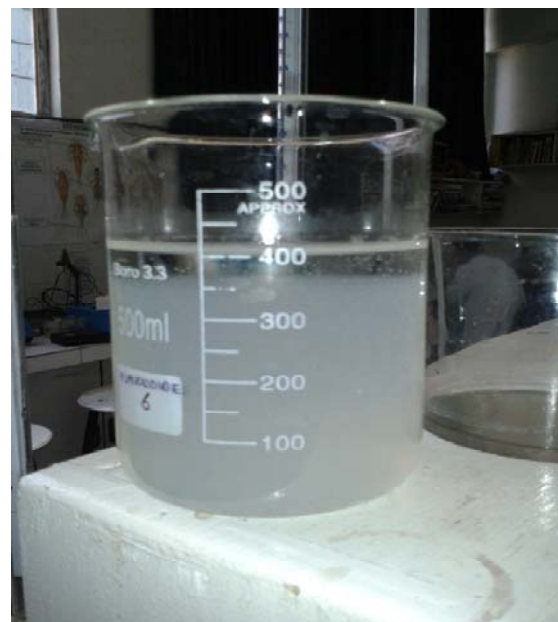
### Anexo 9.- Búsqueda de la concentración ideal de policloruro de aluminio prueba 2

#### ANEXO IX

#### Búsqueda de la concentración ideal de policloruro de aluminio prueba 2



a) Juego de concentraciones de 2,4,6,8,10 ml



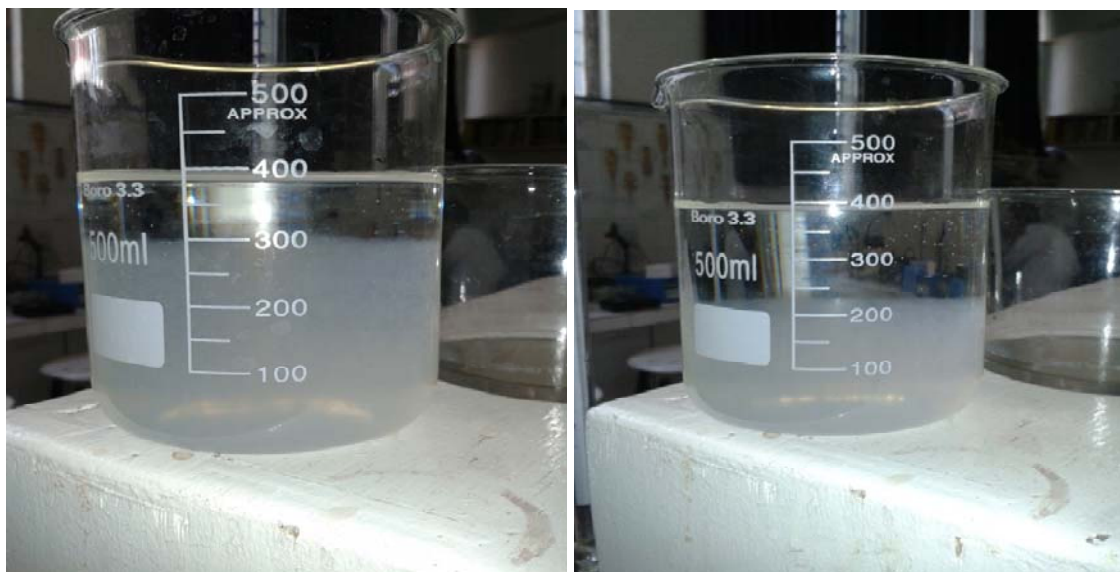
b) Floculación y Sedimentación con 10ml

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Prueba de jarras de 400ml	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		06-12- 2012	09	20:1

**Anexo 10.- Búsqueda de la concentración ideal de policloruro de aluminio prueba 2**

**ANEXO X**

**Búsqueda de la concentración ideal de policloruro de aluminio prueba 2**



a) Flocculation and Sedimentation with 8ml

b) Flocculation and Sedimentation with 6ml

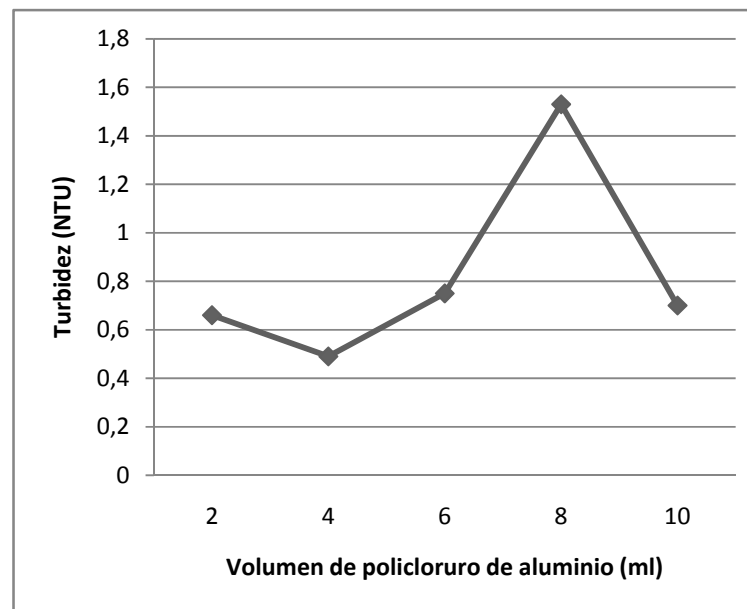
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Prueba de jarras de 400ml	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		06-12- 2012	10	20:1

### Anexo 11.- Concentración ideal de policloruro de aluminio

#### ANEXO XI Concentración ideal de policloruro de aluminio



a) Floculación y Sedimentación ideal 4ml

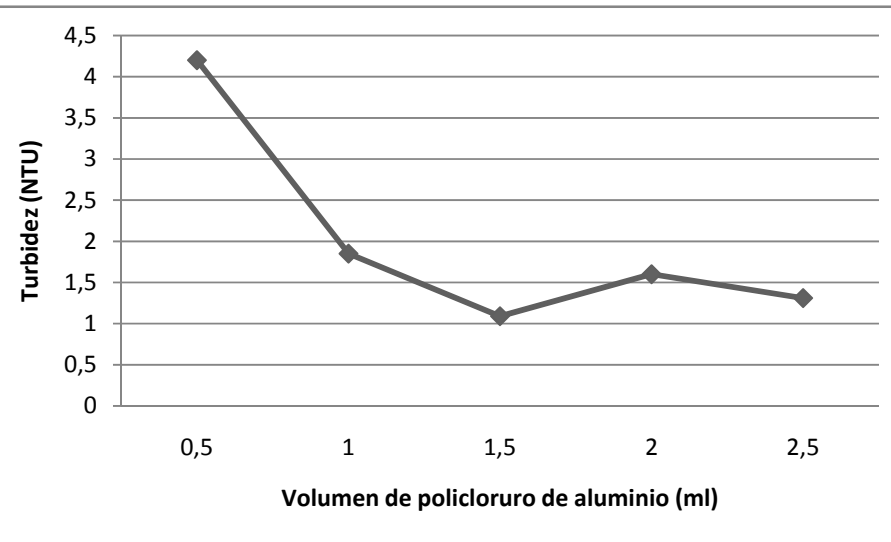


b) Resultados obtenidos.

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LAMINA	ESCALA
Obtención de la concentración ideal y verificación de resultados	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		06-12- 2012	11	20:1

## Anexo 12.- Concentraciones menores a 4ml prueba 3

### ANEXO XII Concentraciones menores a 4ml prueba 3



a) Floculación y Sedimentación 1.5 ml

b) Resultados obtenidos.

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Verificación de la concentración ideal	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		06-12- 2012	12	20:1

### Anexo 13.- Equipos utilizados

#### ANEXO XIII Equipos utilizados



a) Potenciómetro



b) Turbidímetro.

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Antonio Latorre Segovia	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
Equipos utilizados en el ensayo			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			06-12- 2012	13	20:1

**Anexo 14.- NORMA INEN  
INEN 1018:2010  
AGUA POTABLE REQUISITOS**